

DTU Byg

DANMARKS  
TEKNISKE  
UNIVERSITET



## **Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger.**

**Slutrapport for ELFORSK-projekt 337-094**

Rapport  
DTU Byg  
R-187  
2008  
ISBN 9788778772626



**Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger.**

**Slutrapport for ELFORSK-projekt 337-094**

Jacob Birck Laustsen  
Kjeld Johnsen

## **Forord**

Nærværende rapport er den faglige rapportering af projektet ”Udvikling af værktøjer til fremme af energieffektiv anvendelse af solafskærmninger”, Projekt nr. 337-094, støttet af ELFOR/Dansk energi Net.

Projektet er udført i samarbejde med SBI (Statens Byggeforskningsinstitut) og SOLA, brancheforeningen af solafskærmningsfabrikanter i Danmark, repræsenteret ved Blendex A/S og Jyllands Markisefabrik A/S.

Rapporten beskriver metoder til at karakterisere solafskærmninger og bestemme deres energimæssige og optiske egenskaber. I forbindelse med projektet er der udviklet to beregningsværktøjer til vurdering af solafskærmningers effekt på indeklime, dagslysforhold og energiforbrug i bygninger. Det ene beregningsværktøj er velegnet i den tidlige skitsefase mens det andet anvendes i detailprojekteringen af bygninger. Til sammen udgør de et solidt projekteringsgrundlag, som vil fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger.

Kgs. Lyngby, marts 2008.

## **Sammenfatning**

Denne rapport omhandler metoder til karakterisering af solafskærmningers egenskaber og deres effekt på energiforbrug og indeklima og dagslys i bygninger.

I bygninger med store vinduespartier eller glasfacader vil der ofte opstå problemer med overtemperaturer pga. et betydeligt solindfald som opvarmer bygningen. For at leve op til bygningsreglementets krav til lavt energiforbrug kan overtemperaturproblemet sjældent løses med køling og/eller ventilation alene. Derfor er der brug for mere energirigtige løsninger og her er anvendelse af effektiv solafskærmning ofte den bedste løsning på overtemperaturproblemet. Det er vigtigt at tænke solafskærmningen ind i den tidlige designfase, da solafskærmning er en del af bygningens udtryk, og den har stor indflydelse på energiforbrug og indeklima. Derfor er det også nødvendigt at kunne karakterisere solafskærmningers egenskaber og inddrage dem i bygningssimuleringsværktøjer på en retvisende måde for at bestemme den reelle effekt på bygningens energiforbrug og indeklima.

Målet med projektet har været at udvikle to beregningsværktøjer som skal udgøre et solidt projekteringsgrundlag for arkitekter og ingeniører til energirigtigt valg af solafskærmninger i forbindelse med design og projektering af bygninger.

I forbindelse med projektet er der udarbejdet en metode til at bestemme, dokumentere og viderebehandle de optiske og energimæssige egenskaber for solafskærmninger. Karakteriseringen af solafskærmninger baseres på data fra målinger eller oplyst fra producenten, hvoraf de vigtigste er solenergi- og lystransmittans samt reflektans. Disse data indlæses i programmet WIS, som kan beregne optiske og termiske egenskaber for et system bestående af en kombination af den aktuelle rude og solafskærmning. Resultaterne fra WIS bruges som input i to nye beregningsværktøjer udviklet i forbindelse med projektet, som bruges til vurdering af solafskærmningers effekt på bygningers energiforbrug og indeklima.

En omfattende undersøgelse af markedet har vist, at solafskærmningsproducenterne kun kan levere produktdata i begrænset form. Det er således normalt ikke muligt at få oplyst data spektralt fordelt dvs. transmittans og reflektans fordelt på forskellige bølgelængder, som ellers er optimalt for at gennemføre detaljerede beregninger i WIS af deres egenskaber. For at validere de oplyste værdier, er der foretaget detaljerede målinger af de karakteristiske egenskaber af et mindre antal typiske solafskærmninger i DTU's goniospektrofotometer. Sammenligning af de oplyste værdier og målte værdier viste, at der er god overensstemmelse for de fleste, mens nogle få afviger noget. På baggrund af vurdering af målemetoden, som solafskærmningsproducenterne normalt anvender, er det dog vurderet, at de produktdata, som producenterne leverer, er gode nok og kan bruges i beregningerne.

Der er udviklet et nyt beregningsprogram "LightCalc" som kan simulere dagslysforhold i bygninger. Programmet er lavet som en integreret del af bygningssimuleringsprogrammet "BuildingCalc" (BYG.DTU, 2004). BuildingCalc/LightCalc er velegnet til på en simpel måde et regne på energiforbrug, indeklima og dagslysforhold i bygninger med solafskærmning i facaden, idet der tages hensyn til solafskærmningens dynamiske egenskaber, som varierer time for time over året. På den måde kan programmet bruges i den indledende fase til at vælge den mest optimale solafskærmning med henblik på energibesparelser herunder elbesparelser til ventilation og kunstig belysning.

Bygningssimuleringsprogrammet BSim, (SBI, 2007) som i udstrakt grad anvendes i bygningsprojekteringen i dag er blevet udbygget, så det kan håndtere solafskærmninger mere realistisk. Der er udviklet nye styrerutiner for solafskærmninger, som gør beregninger med solafskærmninger mere retvisende, idet det nu er muligt at regulere solafskærmninger dynamisk efter forskellige principper. I tidligere versioner af BSim programpakken var beskrivelsen af en solafskærmning begrænset til angivelse af en fast afskærmningsfaktor. I den nye version kan afskærmningsfaktoren varieres, både efter afskærmningens indstilling (fx lamelhældning på en persienne) og efter tiden på dagen og året. For hver time i året, som simuleres med BSim beregnes hvordan afskærmningsfaktoren eller g-værdien (den totale solvarmetransmittans) for det samlede system varierer henover dagen og året.

De udviklede beregningsværktøjer giver bygningsprojekterende bedre muligheder for at optimere solafskærmningers integrering i facaden, hvilket kan føre til besparelser til opvarmning, ventilation, køling og belysning. Til sammen udgør de to værktøjer et solidt projekteringsgrundlag, som vil fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger.

## Indhold

<b>Forord</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammenfatning</b> .....	<b>5</b>
<b>Indhold</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Indledning</b> .....	<b>8</b>
1.1 Baggrund .....	8
1.2 Formål .....	8
<b>2 Solafskærmningstyper og placering</b> .....	<b>10</b>
2.1 Typiske solafskærmningstyper .....	11
<b>3 Solafskærmningers effektivitet</b> .....	<b>12</b>
3.1 g-værdi .....	12
3.2 Solafskærmningsfaktor .....	12
<b>4 Optiske data for solafskærmninger</b> .....	<b>14</b>
4.1 Spektralfordeling og spektrale værdier .....	14
4.2 Integreerede værdier .....	16
4.3 Optiske egenskabers afhængighed af indfaldsvinklen .....	16
4.3.1 Profilvinkel.....	16
<b>5 Dagslys</b> .....	<b>18</b>
5.1 Dagslysfaktor.....	18
<b>6 Metode til karakterisering af solafskærmninger</b> .....	<b>20</b>
6.1 Måling af solafskærmningers egenskaber.....	20
6.1.1 Målemetode .....	20
6.1.2 Målinger på Screens .....	23
6.1.3 Målinger på persienner og lameller.....	25
6.2 Data leveret af producenter .....	25
6.3 WIS (Window Information System).....	26
6.4 Validering af metoden og WIS .....	28
6.4.1 Data for ruden.....	28
6.4.2 Data for solafskærmningen.....	30
6.4.3 Resultater af måling på rude og solafskærmningssystem.....	31
6.4.4 Resultater af beregning på rude og solafskærmningssystem i WIS.....	32
<b>7 LightCalc</b> .....	<b>34</b>
7.1 Teoretisk grundlag .....	34
7.2 Behandling af ruder og solafskærmning .....	35
<b>8 Oversigt over typiske solafskærmningers egenskaber</b> .....	<b>39</b>
<b>9 BSim</b> .....	<b>42</b>
9.1 Beskrivelse af solafskærmning og nye reguleringsformer i BSim.....	43
9.1.1 Regulering efter solindfald og temperatur, SolarCtrl .....	45
9.1.2 Regulering efter lysføler på facaden, SensorCtrl.....	47
9.1.3 Regulering med lameller efter solindfald og direkte solstråling, BlindCtrl.....	48
9.1.4 Cut-off styring .....	56
9.1.5 Regulering efter blændingsforhold og belysningsstyrke, GlareCtrl.....	57
<b>10 Konklusion</b> .....	<b>61</b>
<b>11 Referencer</b> .....	<b>62</b>
<b>Bilag 1. Standarddokumentationsform for solafskærmninger</b> .....	<b>64</b>
<b>Bilag 2. Simple tool to evaluate the impact of daylight on building energy consumption</b> .....	<b>65</b>
<b>Bilag 3. Procedure til bestemmelse af solafskærmningers egenskaber og deres effekt på indeklima og energiforbrug i bygninger</b> .....	<b>66</b>
<b>Bilag 4. Solafskærmningers egenskaber</b> .....	<b>67</b>
<b>Bilag 5. Producenter af solafskærmningsprodukter</b> .....	<b>68</b>

# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

Facadens udformning er meget afgørende for det resulterende energiforbrug og indeklima i bygninger. I bygninger med store glasarealer i facaden vil det store solindfald medføre et stort behov for ventilation og køling for at undgå overtemperaturer i bygningen. Elforbruget til ventilation og køling kan reduceres betydeligt ved anvendelse af effektiv solafskærmning. Solafskærmning er derfor et vigtigt element i facaden, og med indførelsen af bruttoenergiramme, som inkluderer elforbrug til ventilation, køling og belysning, samt en skærpelse af energibestemmelserne med 25-30 % i Bygningsreglementet, må det forudses, at solafskærmninger vil få en væsentlig øget rolle i fremtidens facadeudformning.

Imidlertid findes der i dag hverken tilstrækkelige data eller beregningsværktøjer, der på tilfredsstillende vis kan beregne den optimale anvendelse og energimæssige effekt af solafskærmninger. De værktøjer som normalt benyttes i dag er utilstrækkelige, og benytter som udgangspunkt faste værdier for sol- og lystransmittans. De tager således ikke hensyn til at disse værdier afhænger af den aktuelle kombination med rudetype, ligesom de ikke tager hensyn til, at afskærmningens egenskaber ændrer sig over døgnet og året. De eksisterende værktøjer er derfor uegnede som beslutningsredskab for reguleringsformer og for helhedsvurderinger af solafskærmningers indflydelse på energimæssige og indeklimatekniske forhold i bygninger. F.eks. er der behov for at kunne bestemme solafskærmningens indflydelse på dagslysforholdene i bygningen time for time for at vurdere behovet for kunstig belysning.

Desværre oplyser producenter og leverandører af solafskærmninger kun produktdata i meget begrænset form. Generelt oplyses kun optiske data som faste værdier for solafskærmningen alene eller i kombination med en standardrude, som sjældent svarer til ruderne der anvendes i et konkret byggeprojekt. For visse solafskærmninger, f.eks. persiener, oplyses som regel en afskærmningsfaktor, som kan variere inden for et interval men stadigvæk i kombination med en standardrude. Disse forsimplede produktdata er ikke tilstrækkelige til anvendelse direkte i bygningssimuleringsprogrammer til at bestemme solafskærmningens effekt på elforbrug indeklima. Der er derfor behov for at udvikle en metode til på en mere retvisende måde at karakterisere solafskærmningers egenskaber med henblik på anvendelse i simuleringsprogrammer i forbindelse med konkrete byggeprojekter.

Ved projekteringen har arkitekter og ingeniører brug for en type værktøjer, som kan benyttes i den tidlige fase af projekteringsforløbet, hvor overordnede beslutninger om placering samt bygnings- og facadeudformning træffes. Senere i projekteringsforløbet er der brug for værktøjer til detailanalyser og beslutninger om styringsstrategier med henblik på optimering af lysforhold, solvarmereduktion, etc.

Der er således behov for at udvikle bedre beregningsværktøjer, som er bedre egnede til at regne på solafskærmningers egenskaber og indflydelse på energiforbrug og indeklima i bygninger.

## 1.2 Formål

Formålet med projektet er at udvikle to beregningsværktøjer som håndterer solafskærmninger korrekt og realistisk i forbindelse med beregning af solafskærmningers indflydelse på energiforbrug og indeklima i bygninger. Beregningsværktøjerne skal sammen med data for et antal

## **DTU Byg**

### **Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger**

solafskærmninger udgøre kernen i et solidt projekteringsgrundlag til arkitekter og ingeniører, som kan anvendes i den tidlige skitsefase og i detailprojekteringen, og på den måde give de projekterende bedre muligheder for at optimere solafskærmningers integrering i facaden.

Målet er, at de udviklede værktøjer skal være effektive og brugervenlige, således at de kan bruges direkte i projekteringen af nye bygninger og på den måde medvirke til en mere udbredt anvendelse af solafskærmninger med tilhørende elbesparelser til følge. Med de udviklede værktøjer skal det være muligt at vælge de energimæssigt bedste solafskærmninger til en konkret bygning og dermed opnå et godt indeklima uden overtemperaturer samtidig med at energiforbruget minimeres.

## 2 Solafskærmningstyper og placering

Formålet med at anvende solafskærmninger er primært at reducere solindfaldet gennem vinduer/glasfacade for at undgå overophedning af bygningen, samt at kontrollere sollysendfaldet for at få gode dagslysforhold og undgå blænding og ensidig lyspåvirkning. Gevinsten ved at anvende solafskærmning i kontorer mv. er først og fremmest, at der kan opnås bedre termisk og optisk komfort samtidig med el-besparelse pga. en reduktion af ventilations- eller kølebehovet i perioder med meget solskin. Med de skærpede energikrav i bygningsreglementet vil det således ofte være nødvendigt at anvende effektiv solafskærmning for at opfylde energirammen i for eksempel kontorbygninger, som ofte har et stort kølebehov. Solafskærmninger vil dog også afhænge af typen påvirke dagslysforholdene og dermed elforbruget til kunstig belysning.

Solafskærmninger kan groft opdeles i:

- Solafskærmende glas, hvor selve ruden virker solafskærmende i kraft af belægning på glasset eller gennemfarvning af glasset.
- Selvstændige mekaniske elementer (med varierende soltransmittans), f.eks. persienner, rullegardiner, markiser etc.

I dette projekt er der primært fokuseret på den sidste kategori som yderligere kan opdeles efter deres placering i konstruktionen, idet solafskærmninger kan placeres:

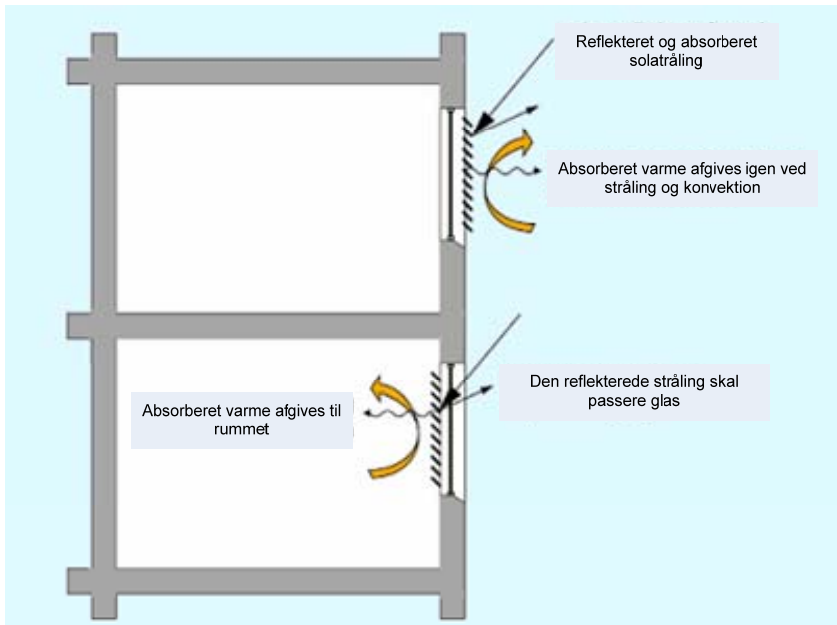
- Indvendigt
- Mellem glassene i ruden, integreret
- Udvendig

Når solens stråler rammer ruderne i en bygning vil størstedelen af strålingen (afhængig af rudens transmittans) transmitteres ind i bygningen, hvor den omdannes til varme. Da den langbølgede varme fra rummet ikke kan passere ruderne igen, betyder det således, at solenergien slipper ind i rummet men kan ikke komme ud igen, hvorved rummet opvarmes.

Den bedste solafskærmende effekt af solafskærmninger opnås derfor ved udvendig placering af afskærmningen, idet solstrålingen afskærmes allerede inden den når ruden og derfor ikke transmitteres ind i rummet.

Ved indvendigt placeret solafskærmning opnås kun en begrænset solafskærmende effekt, fordi solstrålerne når at passere ruden inden de bremses af afskærmningen. Når solstrålingen først har passeret ruden, vil størstedelen af energiindholdet afgives til rummet som varme, uanset om der f.eks. er monteret indvendige gardiner, da de absorberer en stor del af solenergien og afgiver den til rummet, og en del af den stråling som reflekteres af solafskærmningen bliver tilbagereflekteret ind igen af ruden. Hvis den indvendige solafskærmning har en høj reflektans vil en del af solstrålingen dog sendes direkte ud igen.

Betydningen af placeringen af solafskærmning er illustreret på Figur 1.



Figur 1. Betydningen af solafskærmningers placering.

## 2.1 Typiske solafskærmningstyper

De mest anvendte typer af solafskærmninger er

Persienner (Figur 2)

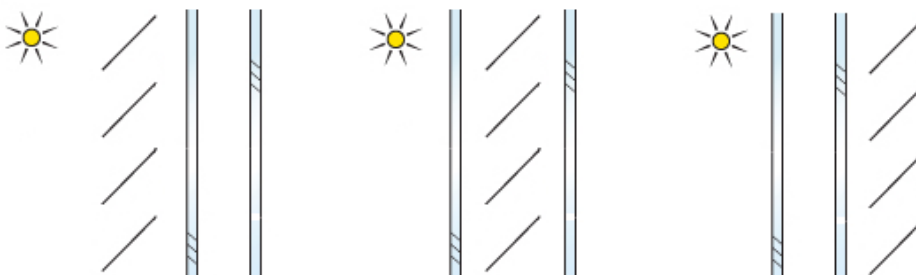
Lameller (Figur 2)

Rullegardiner/screen (Figur 3)

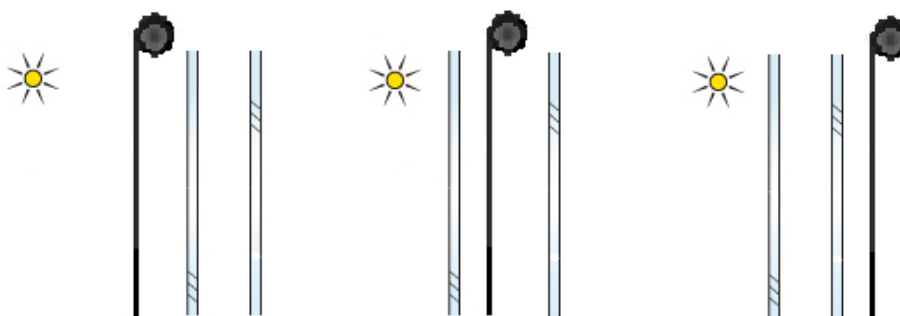
Gardiner

Plissegardiner

Markiser



Figur 2. Eksempler på persienner eller lameller placeret hhv. ude, i mellem glassene og inde.



Figur 3. Eksempler på rullegardiner/screens placeret hhv. ude, i mellem glassene og inde.

### 3 Solafskærmningers effektivitet

Ved beregninger og vurderinger af de termiske forhold i en bygning har man behov for at kunne sammenligne virkningen af forskellige solafskærmningsløsninger, enten det er sammenligning af forskellige afskærmninger eller sammenligning af forskellige rude- og afskærmningskombinationer. Som mål for en solafskærmnings effektivitet anvendes normalt to forskellige begreber, der begge beskriver hvor meget solstråling, der passerer et givet vinduessystem (rude + solafskærmning), nemlig *afskærmningsfaktoren* og *g-værdien*. Både afskærmningsfaktoren og g-værdien angives for en strålingsretning vinkelret på ruden.

#### 3.1 g-værdi

g-værdien (den totale solenergitransmittans) angiver hvor stor en andel af solstrålingen der transmitteres gennem et vinduessystem bestående af solafskærmning og den aktuelle rude i forhold til solstrålingen, der rammer vinduessystemet udvendig. g-værdien anvendes således normalt ikke om solafskærmningen alene. g-værdien angives som transmittansen for en strålingsretning vinkelret på vinduessystemet.

#### 3.2 Solafskærmningsfaktor

Den mest almindelige størrelse til beskrivelse af en solafskærmnings effektivitet er afskærmningsfaktoren som er et udtryk for, hvor stor en andel af solstrålingen et givet vinduessystem (rude plus afskærmning) lader passere i forhold til, hvor meget der passerer en referencerude. Jo mindre afskærmningsfaktor jo bedre afskærmning (betegnelsen er således noget misvisende). I Danmark beregnes afskærmningsfaktoren i forhold til en almindelig to-lagsrude, som regnes at have en total solenergitransmittans (g-værdi) på 0,76. I visse lande, bl.a. England anvendes en et-lagsrude som reference, og g-værdien for denne sættes til 0,87. Da afskærmningsfaktoren afhænger af, hvilken reference der anvendes, må sammenligninger mellem forskellige solafskærmninger naturligvis ske på grundlag af samme reference.

Forholdene omkring afskærmningsfaktoren kompliceres yderligere ved, at traditionelle termoruder stort set ikke anvendes mere, idet de ikke opfylder energikravene i Bygningsreglementet. I dag anvendes altid mindst én energibelægning (lavemissionsbelægning), og til kontor- og erhvervsbyggeri ofte også en solafskærmende belægning. Effektiviteten af en given solafskærmning i kombination med en energirude eller en solafskærmende rude bør derfor beregnes i forhold til den aktuelle rudetype. Hvis eksempelvis den samlede g-værdi for en persienne og en almindelig termorude er 0,40, vil afskærmningsfaktoren for persiennen alene være  $0,40/0,76 = 0,52$  (altså med den traditionelle referencerude, og den værdi man normalt vil finde ved tabelopslag). Anbringes den samme persienne bag en solafskærmende energirude med to belægninger, med en g-værdi på 0,41 og en U-værdi på  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ , vil den transmitterede solvarme blive mindre. Den samlede g-værdi kan måles eller beregnes til 0,31, og for persiennen alene er afskærmningsfaktoren derfor  $0,31/0,41 = 0,75$  (med den aktuelle reference). Persiennens afskærmende effekt er altså væsentlig mindre bag den solafskærmende rude. Hvis man ukritisk benytter persiennens afskærmningsfaktor med standard referenceruden vil det resulterende solindfald blive undervurderet med 48 %, idet den samlede g-værdi da fejlagtigt vil blive beregnet til  $0,41 \cdot 0,52 = 0,21$ , i stedet for den korrekte værdi på 0,31.

På trods af ovenstående kan afskærmningsfaktoren ofte være god nok til at sammenligne forskellige produkter generelt. Men den er ikke detaljeret nok til at beskrive de virkelige forhold i et konkret byggeprojekt, idet den som nævnt afhænger af den aktuelle rude og endvidere varierer over døgnet og året pga. solens varierende position på himlen. Derfor bør afskærmningsfaktoren kun bruges til en overslagsmæssig sammenligning af forskellige solafskærm-

ningsprodukter. Ved mere konkrete vurderinger bør g-værdien, som medregner den aktuelle rude, anvendes og ved en detaljeret årssimulering af solafskærmningens effekt skal der tages højde for at g-værdien varierer som funktion af solens position og solafskærmningens indstilling (fx lamelhældning i persienne).

## 4 Optiske data for solafskærmninger

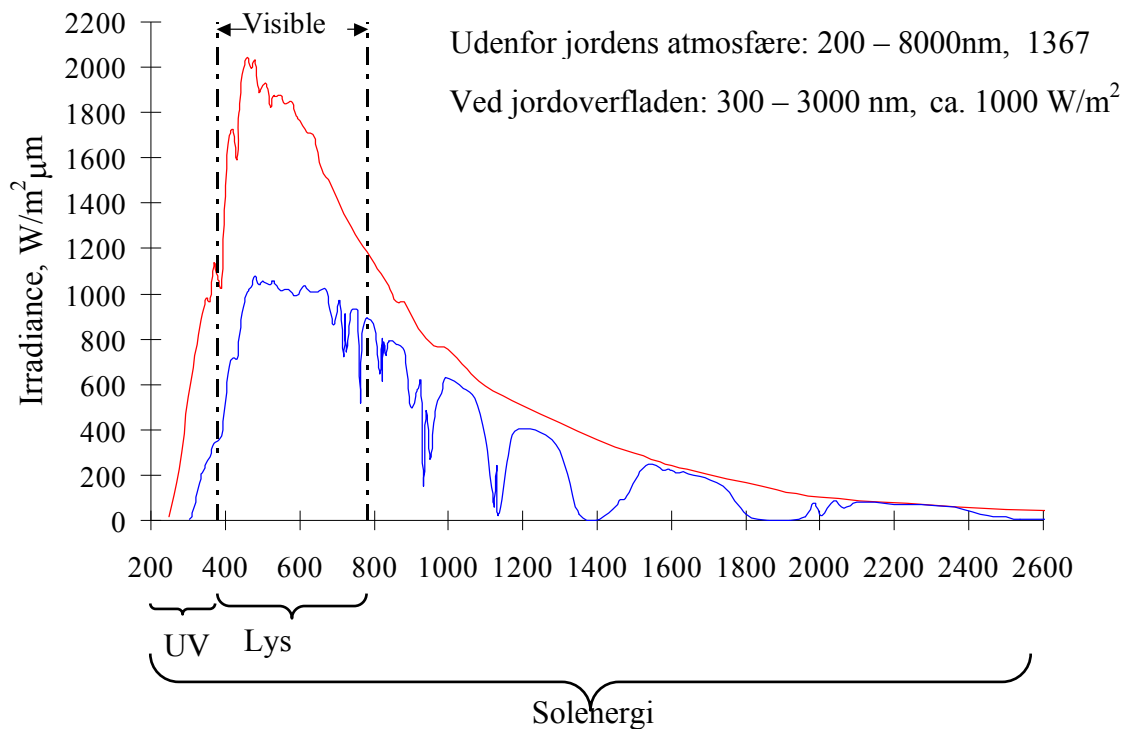
For at kunne bestemme de optiske og energimæssige egenskaber for solafskærmninger når de anvendes i en bygning er det nødvendigt at kende de optiske data for solafskærmningen i kombination med den aktuelle rudetype. Disse egenskaber kan enten beregnes eller måles for det aktuelle specifikke vinduessystem (rude + solafskærmning). Da målinger på det konkrete vinduessystem som regel er meget omfattende og dermed kostbar fortrækkes normalt at beregne sig frem til systemets karakteristiske egenskaber. Data for det specifikke vinduessystem (rude + solafskærmning) bestemmes normalt ved beregning på basis af de grundlæggende optiske data for den aktuelle rude og solafskærmning for sig.

De optiske egenskaber for solafskærmninger karakteriseres ved transmittansen ( $\tau$ ), reflektansen ( $\rho$ ) og absorptansen ( $\alpha$ ). Da egenskaberne afhænger af solafskærmningens position (f.eks. lamelhældningen i en persienne) anvendes værdierne for selve materialet som solafskærmningen er lavet af, hvorefter egenskaberne for den samlede solafskærmning kan beregnes.

Transmittansen er andelen af indfalden solstråling, som transmitteres gennem materialet. Reflektansen er andelen af indfalden solstråling, som reflekteres væk fra materialet og absorptansen er andelen af indfalden solstråling, som absorberes i materialet. Summen af transmittans, reflektans og absorptans er altid 100 % ( $\rho + \alpha + \tau = 1$ ). Ofte opgives kun transmittans og reflektans da absorptans derudfra kan beregnes.

### 4.1 Spektralfordeling og spektrale værdier

De tre størrelser, transmittans, reflektans og absorptans opdeles yderligere i forhold til solstrålingens spektralfordeling i en ”solenergi”-del som gælder for hele solstrålingens spektrum (280 til 2500 nm), en ”lys”-del som gælder for den synlige del af solstrålingens spektrum (380 til 780 nm) og endelig en ”UV”-del som gælder for den ultraviolette del af solstrålingens spektrum (280 til 380 nm). Der ses normalt bort fra områderne under 280 og over 2500 nm da energiindholdet her er minimalt. Det infrarøde område fra 780 til 2500 opgives ikke specifikt men er blot inkluderet i det samlede solenergiområde. Solstrålingens spektralfordeling er vist i Figur 4, hvor fordelingen af solenergi-, sollys- og UV-områderne er markeret.



Figur 4. Solstrålingens spektralfordeling med angivelse af intervallerne for ultraviolet stråling (UV), synlig stråling (Lys) og den samlede solstråling (Solenergi).

I Tabel 1 er energiindholdet i solstråling fordelt på de tre intervaller vist.

Tabel 1. Fordelingen af energiindhold i direkte solstråling.

Hovedområde	Ultraviolet	Synligt lys	Solenergi
Bølgelængde (μm)	0,28-0,38	0,38-0,78	0,28-2,5
Fordeling uden for atmosfæren	6%	48%	100%
Fordeling ved jordoverfladen	2%	48%	100%

De spektrale værdier for transmittans og reflektans for solafskærmninger bestemmes ved detaljerede målinger. Typisk måles data i intervaller på 5 nm. I nærværende projekt er der foretaget målinger i DTU's goniospektrofotometer, se afsnit 6.1.

Den mest optimale og detaljerede karakterisering af solafskærmninger opnås ved anvendelse af spektrale data for transmittans og reflektans, da det giver det fuldstændige kendskab til egenskaberne i hele solspektret, som kan være afgørende hvis f.eks. transmittansen er forskellig i det synlige og det infrarøde område. Derudover giver de spektrale data information om solafskærmningen forårsager en farvning af lyset beskrevet ved Ra-indekset. Dette er dog ikke behandlet i projektet og er sjældent relevant i forbindelse med typiske solafskærmninger. For størstedelen af typiske solafskærmninger varierer transmittansen og reflektansen kun i mindre grad over solspektret.

## 4.2 Integrerede værdier

Da komplet måling af spektralfordelingen af transmittans og reflektans for solafskærmninger er besværlig og tidskrævende, er det desværre normalt kun muligt at få adgang til såkaldte integrerede værdier af transmittans og reflektans fra solafskærmningsproducenterne. I stedet for data fordelt på bølglængdeintervaller (spektrale værdier) er en integreret værdi, f.eks. transmittansen, en værdi som gælder for hele solspektret, svarende til de spektrale værdier integreret over hele solspektret til et tal. Som regel er data dog delt op i UV, lys og solenergi-områderne. Se afsnit 6.2.

## 4.3 Optiske egenskabers afhængighed af indfaldsvinklen

Både transmittans, reflektans og absorptans for solafskærmninger afhænger af solstrålingens indfaldsvinkel. Det betyder, at afskærmningens effektivitet varierer i forhold til afskærmningens orientering mod verdenshjørnerne og solens position på himlen. Det medfører at afskærmningsfaktoren/g-værdien i realiteten varierer hele tiden over døgnet og året.

### 4.3.1 Profilvinkel

Da strålingens indfaldsvinkel afhænger af både solhøjde og azimut opererer man med den såkaldte profilvinkel  $\theta$  defineret som indfaldsvinklen projiceret ind på et vertikalt normalplan til den aktuelle flade. Profilvinklen kan beregnes ud fra solhøjden og forskellen mellem sol- og vægazimut:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\tan h}{\cos \gamma}\right)$$

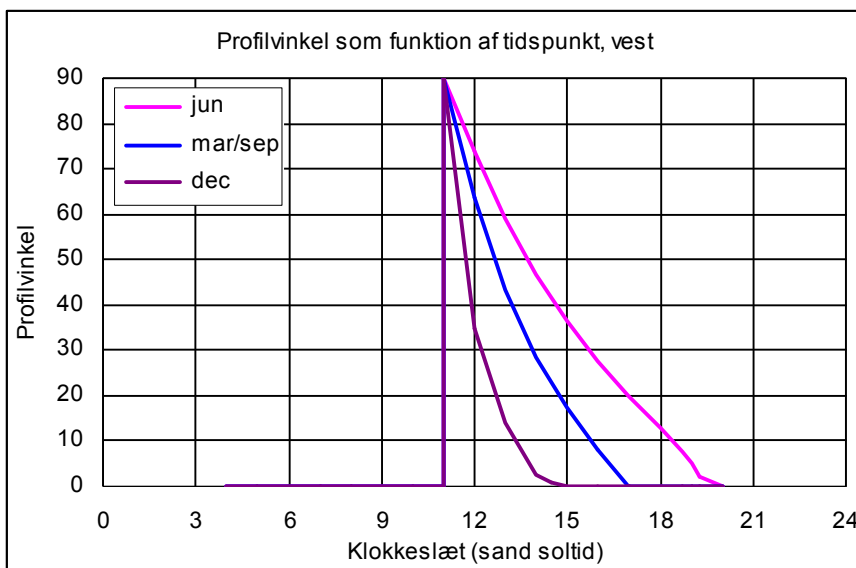
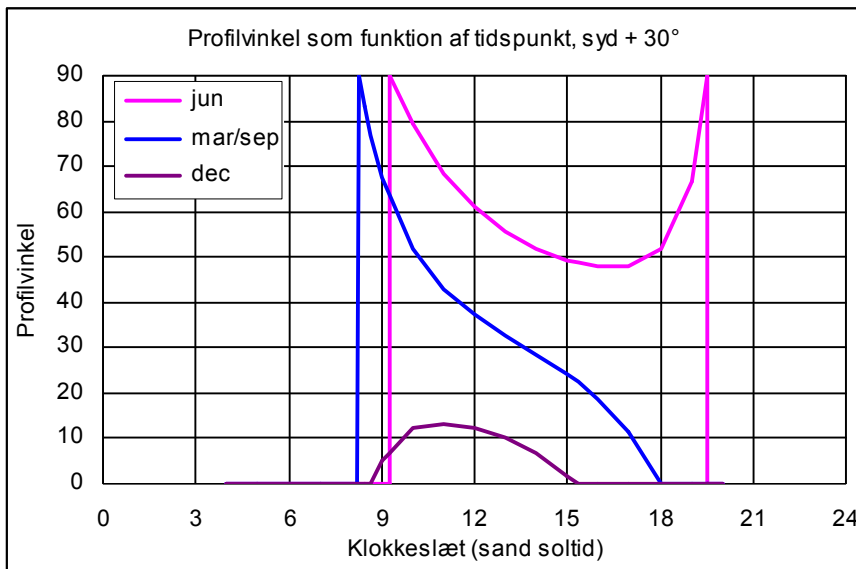
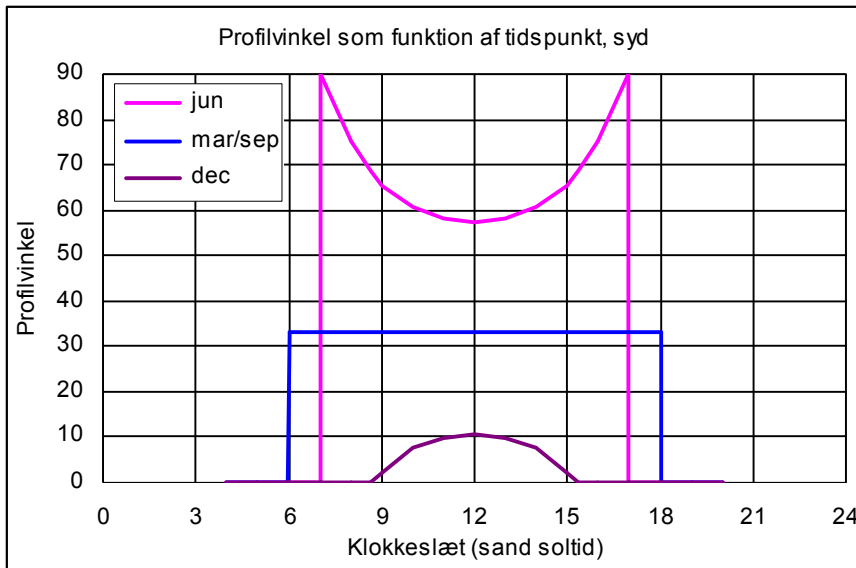
hvor

$\theta$  er profilvinklen

$h$  er solhøjden

$\gamma$  er solens - væggenes azimut

På Figur 5 er profilvinklen som funktion af tidspunktet på dagen vist ved forskellige orienteringer af vinduet og for forskellige måneder (den 21. i månederne). Det ses fx, at for orienteringen syd er profilvinklen konstant hele døgnet ved forårs- og efterårsjævndøgn, den 21. marts og 21. september.



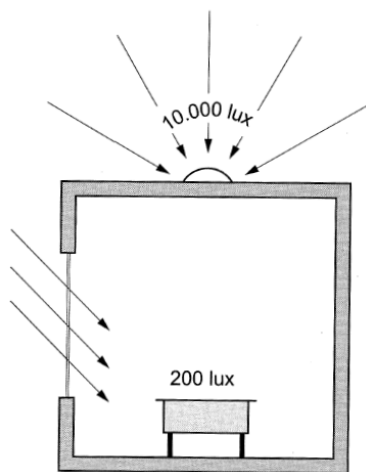
Figur 5. Eksempler på beregninger af profilvinklens variation over dagen og året ved forskellige orienteringer. Kurverne er optegnet for den 21. i de viste måneder.

## 5 Dagslys

Et af formålene med at anvende solafskærmninger er at kontrollere og reducere sollyset som kommer ind i bygningen, da det kan give gener i form af blænding. Samtidig kan solafskærmninger også medføre en uønsket reduktion i lysindfaldet på tidspunkter, hvor der er brug for mere dagslys f.eks. når det er overskyet eller i dybe lokaler med stor afstand fra vinduer til selve arbejdspladsen. Dette kan føre til et øget elforbrug til kunstig belysning. Med variabel solafskærmning og en god styring kan problemet dog minimeres.

### 5.1 Dagslysfaktor

Dagslyset i et lokale varierer i takt med belysningen udendørs, og samtidig bevirker vinduerne placering, at der er variation af lyset fra sted til sted i rummet. Derfor anvendes en relativ størrelse, dagslysfaktoren, DF, som angiver belysningsstyrken på en vandret flade inde i lokalet i forhold til belysningsstyrken på en vandret flade uden for i det fri. Der ses bort fra direkte sollys. Princippet for DF er vist i Figur 6.



Figur 6. Dagslysfaktoren illustreret for et tidspunkt hvor belysningsstyrken udendørs er 10.000 lux og 200 indendør, hvilket giver DF = 2 %. (SBI-anvisning 196 (2000))

Dagslysfaktoren er givet ved

$$DF = \frac{E_{indvendig}}{E_{udvendig}} \cdot 100\%$$

hvor

$E_{indvendig}$  er belysningsstyrken målt indendørs i et punkt på et givet plan. [lux]

$E_{udvendig}$  er belysningsstyrken målt udendørs i et punkt på et vandret plan. [lux]

Da dagslysfaktorer normalt bruges til vurdering af minimumforhold for dagslys, bestemmes den som regel for en overskyet dag, og som grundlag for beregningen anvendes en CIE-standardoverskyet himmel (Commition Internationale de l'Éclairage).

Da dagslys er vigtigt for menneskers velbefindende stilles der krav om gode dagslysforhold i f.eks. kontorbygninger. Ifølge bygningsreglementet skal der være en dagslysfaktor på 2 % på arbejdspladserne [BR08 (2008)].

Dagslysforholdene har stor indflydelse på behovet for kunstig belysning, og der kan derfor opnås el-besparelser ved at optimere dagslysudnyttelsen. Da solafskærmninger i høj grad påvirker dagslysendfaldet er det vigtigt at tage hensyn til dem ved bygningssimuleringer for at

kunne optimere dagslysudnyttelsen og minimere elforbruget til kunstig belysning. Solafskærmninger bør være justerbare, så de kan tilpasses forskellige vejr-situationer for at optimere den solafskærmende effekt på solskinsdage og øge udsynet og dagslysindfaldet når der er brug for det, f. eks i overskyet vejr. Selv på solskinsdage kan aktivering af solafskærmningen pga. for stort solindfald resultere i behov for at tænde det elektriske lys. Med en fornuftig styring af den variable solafskærmning kan den optimale balance mellem reduktion af solindfaldet for at minimere kølebehovet og en god udnyttelse af dagslyset opnås.

## 6 Metode til karakterisering af solafskærmninger

På baggrund af en omfattende undersøgelse af hvilke data der er tilgængelige for typiske solafskærmninger på markedet og i hvilken form værdierne foreligger, er der udviklet en generel metode til bestemmelse af energimæssige og optiske egenskaber for solafskærmninger og deres indflydelse på energiforbrug, termisk indeklima og dagslysforhold i bygninger. Da solafskærmningers egenskaber og indflydelse på bygninger er komplekse er metoden omfattende og indeholder flere delelementer og hjælpeprogrammer.

Karakterisering af solafskærmninger og bestemmelse af deres effekt på indeklima og energiforbrug kan deles op i tre trin:

- Egenskaber for solafskærmningen alene
- Egenskaber for solafskærmningen i kombination med den aktuelle rude/facade
- Beregning af solafskærmningens effekt på indeklima og energiforbrug i en bygning

Sidste trin opdeles i

a) en indledende simpel beregning til den tidlige skitsefase for at give mulighed for at vælge den rigtige type facade/solafskærmningsløsning fra starten (BuildingCalc/LightCalc, afsnit 7)

b) en mere detaljeret beregning hvor facade/solafskærmning optimeres og en velegnet styringsstrategi, som giver gode dagslysforhold og lavt energiforbrug vælges. (BSim, afsnit 9)

Metoden baseres på optiske data for solafskærmninger enten målt i f.eks. DTU's Goniospektrofotometer (se afsnit 6.1) eller opgivet af producenterne. De optiske data for solafskærmningen behandles i programmet WIS (se afsnit 6.3), som gør det muligt at karakterisere solafskærmningen i kombination med forskellige ruder. Således beregner WIS de samlede dynamiske egenskaber for vinduessystemer bestående af både rude og solafskærmning.

Resultaterne fra WIS indlæses herefter i LightCalc (program udviklet som en del af projektet) som i kombination med BuildingCalc beregner de energimæssige og dagslysmæssige forhold i en aktuel bygning hvor solafskærmningen anvendes.

De optiske data for solafskærmningerne anvendes ligeledes som input til BSim som er blevet forbedret med nye beregningsrutiner for solafskærmninger, som bl.a. giver mulighed for at anvende forskellige avancerede styringsprincipper.

Den samlede metode til karakterisering af solafskærmninger samt anvendelse af udviklede programmer er beskrevet i en kortfattet vejledning (bilag 3) som kan anvendes af arkitekter og ingeniører m.fl. under projekteringen.

### 6.1 Måling af solafskærmningers egenskaber

Ved anvendelse af DTU's Goniospektrofotometer er der foretaget målinger af transmittansen af udvalgte solafskærmninger leveret af projektdeltagerne fra SOLA.

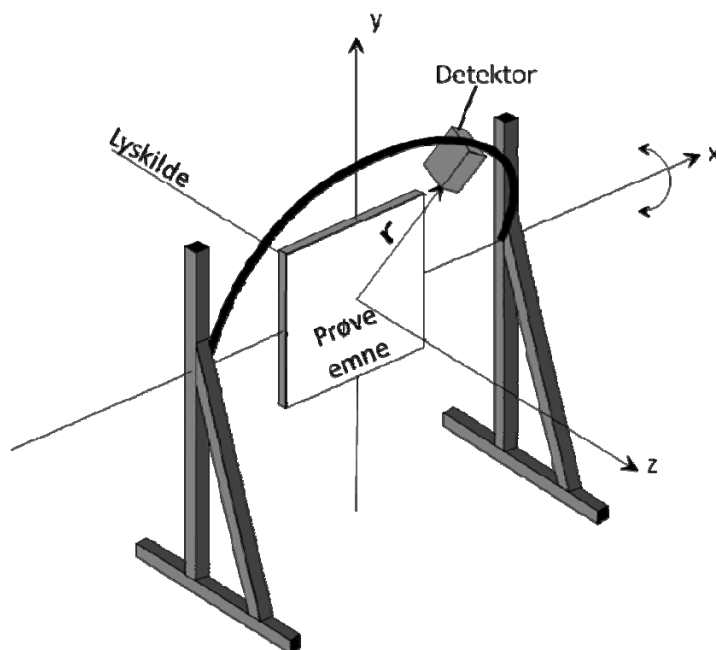
#### 6.1.1 Målemetode

Målingerne er foretaget vha. DTU's Goniospektrofotometer som beskrives i det følgende. Goniospektrofotometret er et avanceret og unikt måleinstrument til detaljeret måling af ruder og solafskærmningers optiske egenskaber transmittans og reflektans.

Et goniometer er et instrument til bevægelse af en komponent i en halvkugleformet bevægelse (angivet ved sfæriske koordinater). Et spektrometer kan måle spektralt fordelte optiske egenskaber. Goniospektrofotometret, som kombinerer spektrometret og goniometret, kan således måle den rumlige fordeling af transmittansen og reflektansen som spektrale værdier dvs, fordelt på bølgelængder i lyskildens spektrum. Således kan de optiske egenskaber beskrives som funktion af strålingens bølgelængde og retning.

Goniospektrofotometret består af en lyskilde (halogenlampe) og en detektor monteret på en halvcirkelformet goniometerarm. Detektoren er forbundet via lyslederkabler til 2 monochromatorer forbundet til en spektrumanalysekontrolenhed som styrer opsamlingen af data samt to computere til databehandling. Se Figur 7 og Figur 8.

Lampen forsynes med jævnstrøm fra en stabiliseret strømforsyning som sikrer, at lampen får en meget jævn spænding og lyssignalet derved bliver helt stabilt under målingen.



Figur 7. Principskitse af Goniospektrofotometret.

Princippet ved en transmittansmåling er at lampen placeres vinkelret udfør prøveemnet i en afstand på ca. 3m (andre indfaldsvinkler er også mulige). Prøveemnet er placeret i centrum af den halvkugle som goniometerarmen danner. Detektoren som er monteret på goniometerarmen måler strålingen som transmitteres gennem prøveemnet i den aktuelle retning hvor detektoren er. Detektoren programmeres til at måle i et antal punkter fordelt på et område af halvkuglen hvor der registreres stråling.

For at kunne bestemme transmittansen foretages først en referencemåling hvor prøveemnet er fjernet, dvs. en måling af den uhindrede stråling fra lampen. Derefter monteres prøveemnet i holderen mellem lampen og goniometerarmen og der foretages en ny scanning. Ved at dividere resultaterne fra de to målinger op i hinanden fås transmittansen direkte. Værdierne konverteres til solenergi- og sollystransmittans ved at multiplicere med hhv. den spektrale energifordeling af solstråling i henhold til ISO 9050 og produktet af det menneskelige øjes fotoniske følsomhed og den spektrale energifordeling af standard illuminant D65 defineret af CIE (Commission internationale de l'éclairage).

Afhængig af hvad målingerne skal bruges til behandles de efterfølgende. Hvis man er interesseret i en samlet værdi for de optiske værdier integreres den rumlige fordeling til en samlet størrelse uafhængig af hvilken retning strålingen transmitteres/reflekteres. Tilsvarende integreres de spektralt fordelte værdier til én størrelse gældende for det ønskede bølgelængde interval, fx synligt lys.



Figur 8. Goniospektrofotometret ved måling transmittans. Lyskilden er placeret vinkelret på prøveemnet i en afstand på 3m.

Målingerne foretages for vinkelret stråling som spektrale værdier og gemmes i det rette format, som kan indlæses i programmet WIS. I WIS beregnes herefter energimæssige og optiske egenskaber for solafskærmningen i kombination med en rude. Se afsnit 6.3.

På Figur 9 er måleopstillingen for reflektansmåling vist. Her er lyskilden placeret på den anden side af prøveemnet dvs. på samme side som detektoren, og referencemålingen består af en scanning med et spejl med kendte optiske egenskaber monteret i stedet for prøveemnet. Placeringen af lyskilden indenfor goniometerarmen besværliggør reflektansmålinger betydeligt. Pga. pladsmangel og fordi goniometerarmen ikke må skygge for lyskilden, kan indfaldsvinklen ved reflektansmålinger ikke være 0 grader, og man kan kun måle i et begrænset område for en given indfaldsvinkel. For spejlende ikke-spredende emner, som f. eks. ruder, er det uproblematisk, da den reflekterede stråling sendes i en bestemt retning, og der derfor kun kræves måling i et lille begrænset område. Ved diffuserende emner kan det være problematisk, fordi det begrænsede måleområde måske ikke dækker det samlede område, som strålingen reflekteres ud til.



Figur 9. Goniospektrofotometret ved måling af reflektans. Lyskilden er placeret på samme side som prøveemnet. Som reference anvendes et spejl med kendt spektralfordeling af reflektansen.

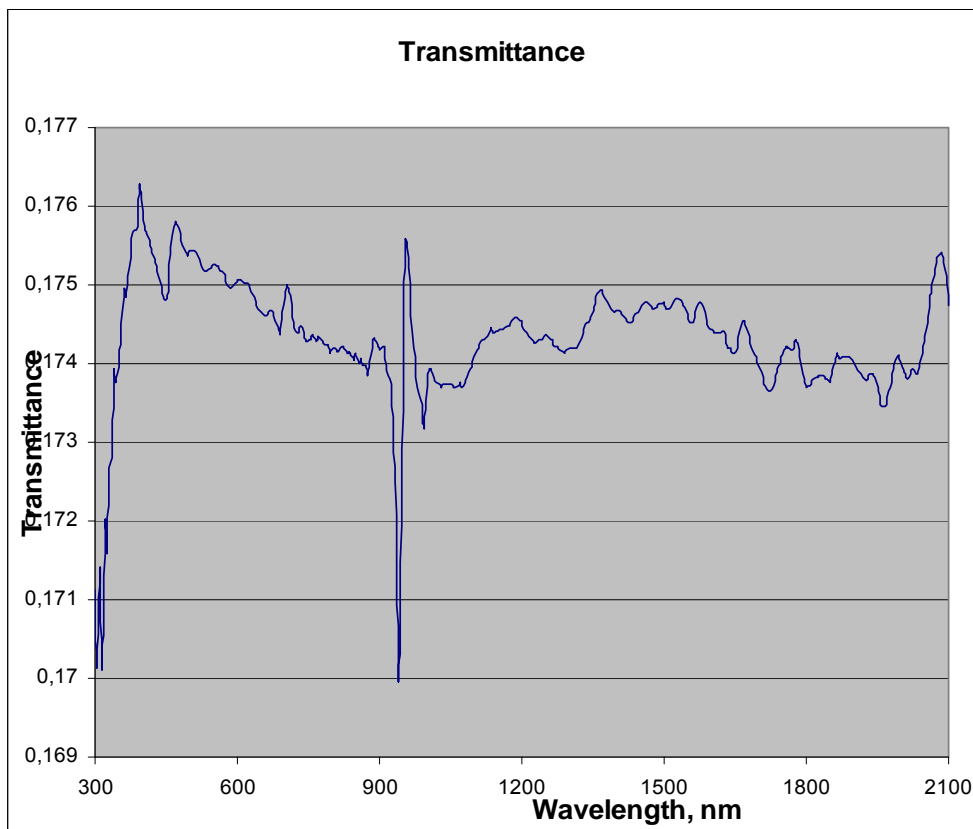
### 6.1.2 Målinger på Screens

Der er foretaget målinger af transmittans for et mindre antal rullegardiner/screens fra producenterne Soltis og Hexcel.

De fleste af målingerne er foretaget for normalstråling dvs. med strålingen vinkelret på prøveemnet. Dette svarer til den typiske angivelse af transmittans. Ved målingerne har det vist sig at alle screendugene transmitterer strålingen stort set direkte dvs. at spredningen af strålerne er under  $5^\circ$  hvilket i henhold til (Rosenfeld, J.L.J. (2004)) kategoriseres som ”ikke-spredende”. Dette skyldes, at screendugenes struktur består af uigennemsigtigt materiale vævet, så der er små huller i dugen. Transmissionen af solstråling sker således direkte gennem de små huller og det er hullernes størrelse eller tæthed som afgør transmittansens størrelse.

Transmittansen er målt både spektralt og rumligt fordelt. Ved efterfølgende databehandling er den rumlige fordeling integreret over hele målearealet for at bestemme den samlede transmittans. Da screendugene transmitterer strålingen stort set direkte, er den rumlige fordeling uinteressant.

På Figur 10 ses som eksempel transmittansen for en screen Soltis 86-2046. De store udsving omkring 1000 nm skyldes at måleudstyret består af to monocromatorer, som måler hhv. det lave og det høje bølgeområde, og omkring 1000 nm, hvor de skiller, opstår nogle unøjagtigheder.



Figur 10. Transmittans for Screen, Soltis 86-2046 målt i DTU's Goniospektrofotometer.

Det ses af Figur 10 at transmittansen kun varierer lidt over det viste spektrum (bemærk skala på Y-aksen).

Den samlede (integrerede) målte solenergi- og lystransmittans for Soltis 86-2046 er vist i Tabel 2

Tabel 2. Solenergi- og lystransmittans for solafskærmning Screen, Soltis 86-2046 målt i DTU's Goniospektrofotometer

Optical data of solar shading device	
Measured by DTU in the Goniospectrometer	
Date	03-04-2006
Customer	Jylland markisefabrik
Sample	SOLTIS 86-2046
Type of measurement	Transmittance
Measurement carried out by	JBL
Incidence angle	0 °
Solenergitransmittans	$T_s = 0,17$
Sollystransmittans	$\tau = 0,18$

De målte transmittanser er vist i Tabel 3 sammen med tilsvarende værdier oplyst fra producenten.

Tabel 3. Solenergitransmittans og lystransmittans for udvalgte screens målt i DTU's goniospektrofotometer og oplyst fra producenten.

	Ts		Tv	
	Producent	Målt DTU	Producent	Målt DTU
Hexel				
SC25	0,13	0,05	0,13	0,05
S2 5 %	0,07	0,02	0,06	0,02
Soltis				
86-2046	0,19	0,17	0,19	0,18
86-2046		45 °: 0,16		45 °: 0,16
86 20 47	0,13	0,15	0,16	0,16
92-2010	0,10	0,04	0,07	0,03
92-2044	0,18	0,17	0,12	0,14
92-2047	0,03	0,03	0,03	0,03
99-2059	0,07	0,04	0,06	0,04

Det fremgår af

Tabel 3, at der for ca. halvdelen af målingerne er god overensstemmelse med værdierne oplyst af producenten. Der er dog enkelte af målingerne, som ligger relativt langt fra producentens værdi. Det kan skyldes at den oplyste værdi ikke er for normalstråling. Det har ikke været muligt i alle tilfælde at fremskaffe detaljerede oplysninger om, hvordan producentens værdier er målt herunder bl.a. hvilken indfaldsvinkel der er målt for. Se også afsnit 6.2.

### 6.1.3 Målinger på persiener og lameller

Det var planlagt at måle reflektansen for udvalgte typiske rullegardiner og lameller leveret af SOLA med henblik på at undersøge, om de af producenterne oplyste værdier var korrekte. Desværre har det ikke været muligt at måle retvisende værdier af reflektansen, fordi de aktuelle prøver reflekterede strålingen diffust, dvs. at den reflekterede stråling udsendes stort set jævnt fordelt i alle retninger inden for en halvkugle. Som nævnt ovenfor er det pga. pladsmangel, når lyskilden er placeret inden for goniometerarmen, kun muligt at måle i et begrænset område af den halvkugle, som modtager reflekteret stråling. For at opnå korrekte værdier vil det være nødvendigt at dele hver reflektansmåling op i delmålinger, som hver dækker et delområde af halvkuglen, som modtager reflekteret stråling og så til sidst summere bidragene fra de enkelte delområder til den samlede reflektans. Denne proces vil være usædvanlig tidskrævende bl.a. fordi der mellem hver delmåling bør foretages en referencemåling med det standardiserede spejl og derfor vil opdelingen af strålingsområdet og efterfølgende samling igen være forbundet med stor risiko for unøjagtigheder og fejl. Hertil kommer, at det sandsynligvis ville være nødvendigt at flytte på lyskilden under forsøget for at kunne dække hele halvkuglen, som rammes af reflekteret stråling, hvilket ville resultere i yderligere fejl. Efter nøje overvejelser blev det derfor vurderet, at disse omfattende målinger ikke kunne gennemføres inden for projektets rammer. I stedet er værdierne udleveret af producenterne anvendt.

## 6.2 Data leveret af producenter

Målingerne i goniospektrofotometret er præcise, men meget tidskrævende at gennemføre. For at få adgang til et stort udsnit af solafskærmninger på markedet, var det i projektet derfor en målsætning, at producenterne selv skal kunne fremsende de optiske data, når de efterspørges til en konkret projekteringsopgave. Der er derfor gjort en stor indsats for at indsamle optiske data for produkter fra en række producenter.

Hovedparten af solafskærmningsproducenterne på markedet laver solafskærmningerne af materialer produceret af nogle få store producenter som f.eks. Hexel og Ferrari/Soltis for screen-duge. Dvs. at produktokumentationen også primært kommer fra disse store producenter. Desværre har det vist sig, at mange af producenterne kun kan oplyse deres produkters optiske egenskaber i begrænset omfang. De kan således kun sjældent levere data som spektrale værdier, som er det optimale for de efterfølgende beregninger. De data som følger med produkterne opgives som integrerede værdier, dvs. enkelte værdier som gælder for hele UV-, sollys- eller solenergispektret.

Derforuden viste det sig at dokumentationen for de oplyste data fra producenterne ofte er mangelfuld og meget begrænset. Derfor er der i forbindelse med projektet brugt mange kræfter på at fremskaffe pålidelig dokumentation for forskellige producenters produktdata. Et større undersøgelsesarbejde peger på, at de fleste solafskærmninger på markedet er testet hos nogle få måleinstitutioner, som bruger en simpel med anerkendt målemetode, som følger den amerikanske Ashrae Standard 74-1988 (Ashrae, 1988) til bestemmelse af transmittans og reflektans (og absorptans). Metoden er at placere prøveemnet foran en stor boks med en strålingsmåler bagved, som registrerer hvor meget stråling der transmitteres/reflekteres. Målingen foretages normalt udendørs under åben himmel i klar solskin. Der anvendes forskellige måleinstrumenter til lystransmittans og solenergitransmittans og –reflektans. Målemetoden anses for at være meget præcis, men den giver hverken spektralt eller rumligt fordelte data. De opnåede måleresultater er således integrerede værdier for transmittans eller reflektans for en given indfaldsvinkel, som typisk er vinkelret (0 grader).

Da spektralfordelingen for typiske solafskærmninger normalt kun varierer ganske lidt, er det vurderet, at de integrerede værdier er fuldt acceptable til videre beregninger i programmet WIS (se næste afsnit). Tilsvarende er WIS begrænset til kun behandle data for vinkelret stråling for lameltyper f.eks. persiener, og det er derfor tilstrækkeligt at nøjes med data for vinkelret stråling. Dermed antages det som tilnærmelse, at transmittans og reflektans for selve materialet er ens for alle retninger. For lameltyper tager WIS hensyn til indfaldsvinklen idet egenskaberne beregnes som funktion af profilvinklen for den ønskede lamelhældning under forudsætning af at strålingen reflekteres diffust.

Baseret på ovenstående er det vurderet, at integrerede værdier leveret af producenterne er gode nok til anvendelse i de videre beregninger af den aktuelle solafskærmnings egenskaber sammen med konkrete ruder og anvendt i en given bygning. Kun i særlige tilfælde hvor der er behov for at kende spektralfordelingen af solafskærmningen, er det nødvendigt at foretage en detaljeret måling i goniospektrofotometret.

### **6.3 WIS (Window Information System)**

Som støtte for udviklingen af det nye beregningsværktøj LightCalc (se afsnit 7) samt udvidelse af BSim (se afsnit 9) har det europæiske beregningsprogram WIS været anvendt. Desuden bruges resultaterne fra WIS som input til beregninger i LightCalc som en del af den udviklede metode til karakterisering af solafskærmninger.

Programmet WIS kan beregne energimæssige og optiske data for rudesystemer bestående af vilkårlig opbygning af en rude med solafskærmning. Rudesystemet opbygges ved at sammensætte forskellige glas, gasfyldninger og solafskærmninger svarende til den aktuelle vindues- eller glasfacadeløsning. De indgående glas, gasfyldninger og solafskærmninger vælges fra databasen, som følger med WIS. For det opbyggede rudesystem beregnes de optiske data båd-

de som spektrale værdier (fordelt på bølgelængdeområder) og som integrerede værdier for forskellige profilvinkler (indfaldsvinkel projiceret ind på vinkelret) samt for diffus stråling.

For variable solafskærmninger som f.eks. persienser og lameller kan WIS også bruges til at få oplysninger om solafskærmningens virkning ved forskellige lamelhældninger.

Den opdaterede database med rudeglas (Specular pane) indeholder data for 378 forskellige glas på markedet, og solafskærmningsbasen (Scattering layer) indeholder data for 317 forskellige solafskærmninger. Til gengæld er ramme/karmprofiler (Frame) og kantkonstruktioner (Spacers/Edges) kun sparsomt repræsenteret.

WIS er gratis og kan downloades fra <http://windat.ucd.ie/wis/html>.

På Figur 11 er startskærmbilledet i WIS vist. Det er herfra at de enkelte dele af programmet aktiveres. I forbindelse med beregninger af solafskærmninger og ruder er det stort set kun ”Scattering layer” (solafskærmning), ”Specular pane” (rudeglas) og ”Transparent system” (rude/afskærmningssystem) som anvendes.

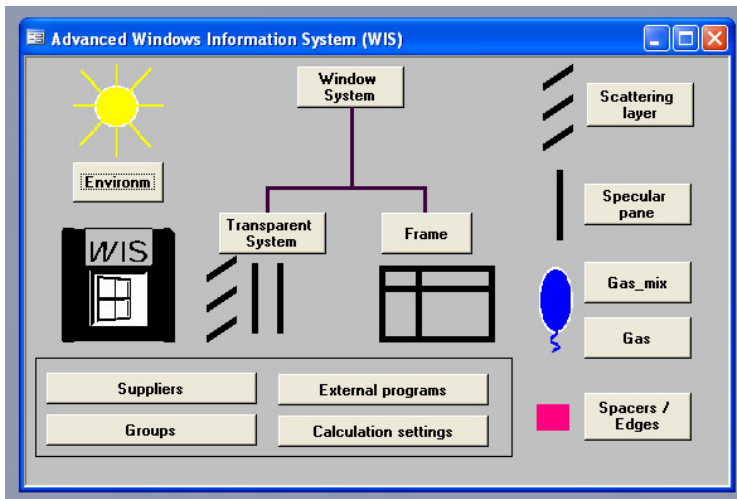
Det er muligt at indtaste nye produkter i WIS. Data for solafskærmninger kan indlæses i WIS enten som spektrale værdier for normalstråling (vinkelret), som normalt importeres fra en fil eller som integrerede værdier for varierende profilvinkel, som indtastes i manuelt i programmet.

Data for **screens, rullegardiner** o. lign. indlæses enten som spektrale eller som integrerede værdier. Hvis data er givet som spektrale værdier vil WIS i beregningen antage at transmittanser og reflektanser er de samme for alle profilvinkler undtagen 90° hvor de er hhv. 0 og 1. Dette betyder at solenergi- og lystransmittansen ikke afhænger af solens position hvilket ofte ikke altid er korrekt. Disse værdier er i sig selv således ikke særligt velegnede til efterfølgende dynamiske dagslysberegninger hvis de anvendes alene. I WIS tages til gengæld hensyn transmittansens og reflektansens afhængighed af indfaldsvinklen for den anvendte rude, og det vurderes derfor at de beregnede værdier for det samlede system bestående af rude og solafskærmning er realistiske. Fordelen ved spektrale data er, at de giver mulighed for at vurdere farvegengivelsen.

Hvis data er givet som integrerede værdier for forskellige profilvinkler vil betydningen af solens position i forhold til solafskærmningen indgå i de efterfølgende dynamiske beregninger som ønsket. Til gengæld kan farvegengivelse og spektralfordeling for rudesystemet ikke bestemmes. Et minus ved de integrerede værdier er (hvis alle data ikke foreligger), at der skal gennemføres målinger for flere indfaldsvinkler, hvilket er ganske tidskrævende. Endvidere er den manuelle indtastning i WIS tidskrævende.

For **lameller og persienser** gælder, at data for selve lamellerne kun kan indlæses for normalstråling. Til gengæld beregner WIS egenskaberne for den samlede persienne for givne lamelhældninger, hvorved der tages højde for solens position i forhold til afskærmningen.

Anvendelsen af WIS er yderligere beskrevet i en kortfattet vejledning (bilag 3).



Figur 11. Startskærbilledet i WIS

## 6.4 Validering af metoden og WIS

Metoden til at karakterisere solafskærmningers egenskaber sammen med en given rude er valideret, ved at sammensætte målte værdier for enkeltkomponenter indlæst i WIS til en samlet rudeløsning med solafskærmning og så sammenligne de beregnede værdier med de målte for den samlede løsning. Målinger af de optiske egenskaber er foretaget i DTU's goniospektrofotometer.

Der er foretaget transmittansmålinger af forskellige kombinationer af ruder og solafskærmninger. I det følgende gennemgås målingerne på et system bestående af en typisk 2-lags lavenergirude med argon og blød lavemissionsbelægning kombineret med en screen som også er målt på separat.

### 6.4.1 Data for ruden

Pilkington energirude

4 – 15Ar – SN4

$U_g = 1,19 \text{ W/m}^2\text{K}$

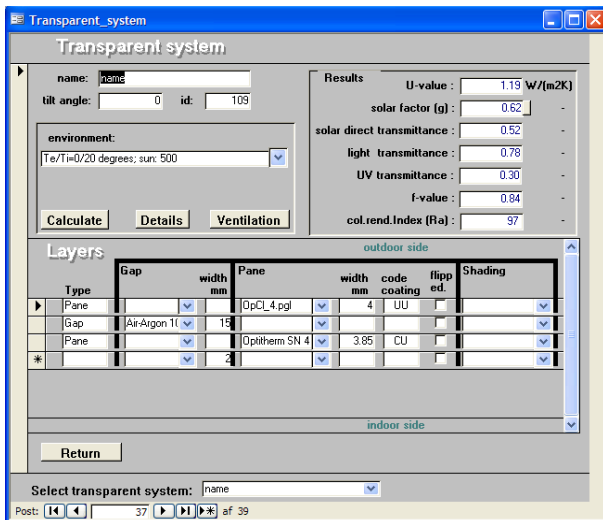
$g_g = 0,62$

Solenergitransmittans = 0,52

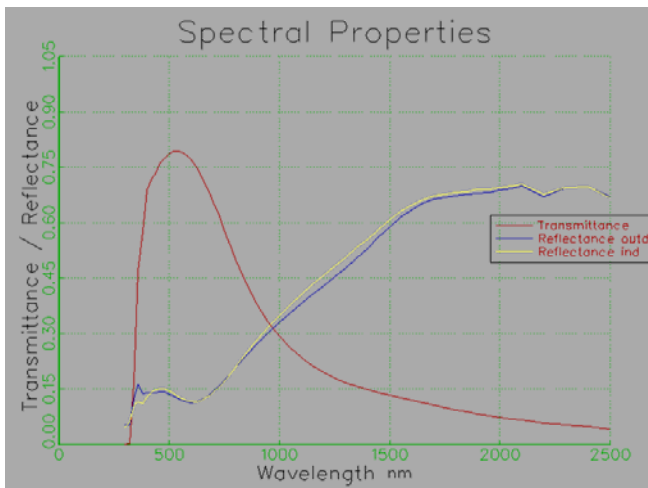
Lystransmittans = 0,78

Rudens energimæssige egenskaber for normalstråling beregnet i WIS er vist i Figur 12. Spektrale værdier for transmittans og reflektans for ruden er vist i Figur 13.

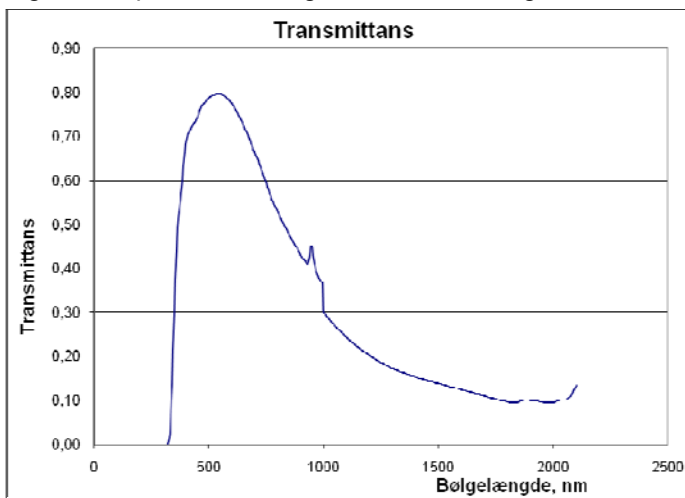
**DTU Byg**  
**Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger**



Figur 12. Energimæssige egenskaber for 2-lags energirude beregnet i WIS.



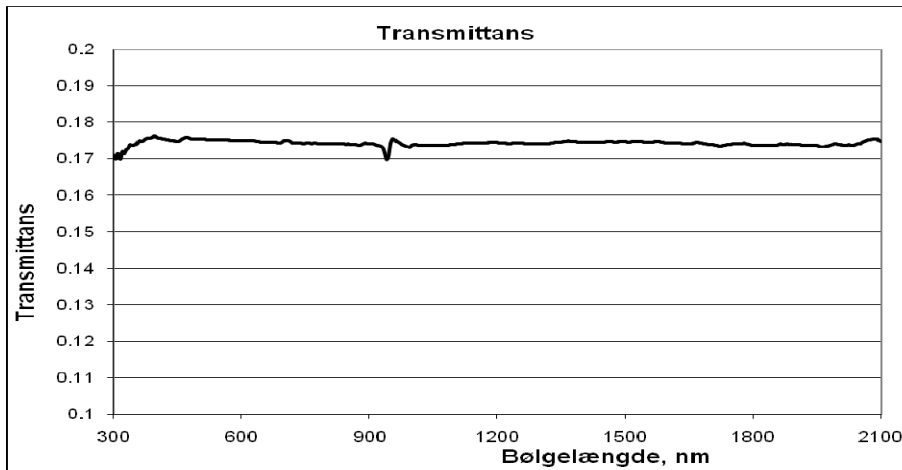
Figur 13. Spektralfordeling af transmittans og reflektans for 2-lags energirude beregnet i WIS.



Figur 14. Spektralfordeling af transmittans og reflektans for 2-lags energirude målt i goniospektrometret.

### 6.4.2 Data for solafskærmningen

Den anvendte solafskærmning er et rullegardin/Screen fra Jyllands Markisefabrik. SOLTIS 86-2046. Den målte spektralfordeling af transmittansen for solafskærmningen alene er vist i Figur 15.



Figur 15. Transmittans for solafskærmningen (spektralt) for solafskærmningen SOLTIS 86-2046.

De integrerede værdier for solenergi- og lystransmittans for solafskærmningen SOLTIS 86-2046 baseret på de spektralt fordelte målte værdier er:

$$\text{Solenergitransmittans} = 0,17$$

$$\text{Lystransmittans} = 0,18 \quad (\text{Se også Tabel 2})$$

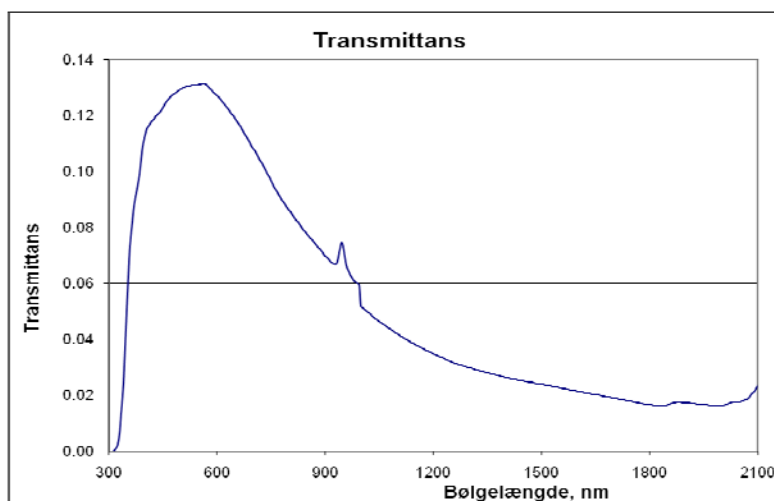
De målte spektrale data for solafskærmningen er indlæst i WIS til efterfølgende beregninger.

### 6.4.3 Resultater af måling på rude og solafskærmningssystem

Herefter er solafskærmningen monteret uden på ruden hvorefter der er gennemført transmittansmålinger på det samlede system. Resultaterne er vist i Tabel 4 og Figur 16.

Tabel 4. Solenergi- og lystransmittans for solafskærmningen SOLTIS 86-2046 og 2-lags energirude (spektralt).

Optical data of Low-e glazing with solar shading device	
Measured by DTU in the Goniospektrofotometer	
Date	03-04-2006
Customer	Jylland markisefabrik/Pilkington
Sample	Low-e glazing, 4-15AR-SN4
Sample	SOLTIS 86-2046
Type of measurement	Transmittance
Measurement carried out by	JBL
Position	0 °
Total solar energy transmittance	$T_s = 0.10$
Light transmittance	$\tau = 0.13$

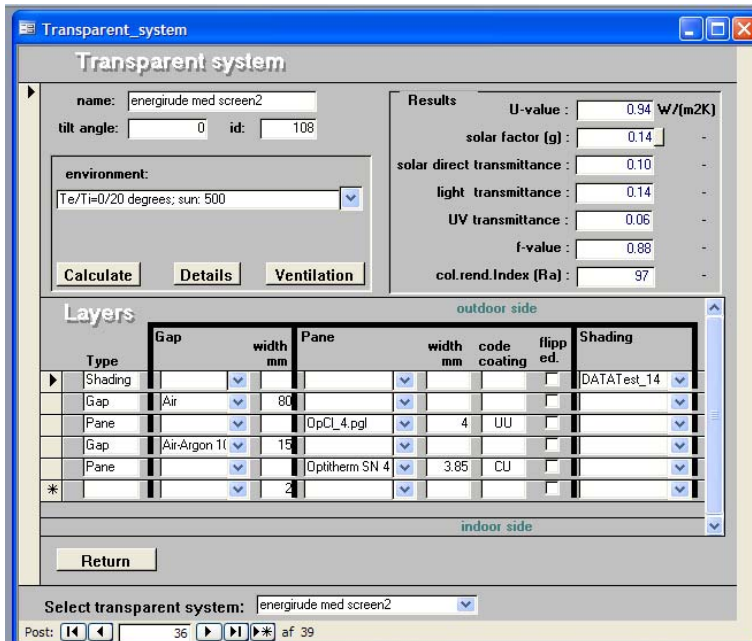


Figur 16. Transmittans for kombinationen af rude og solafskærmning målt i goniospektrometret.

Igen ses små uregelmæssigheder omkring 1000nm.

#### 6.4.4 Resultater af beregning på rude og solafskærmningssystem i WIS

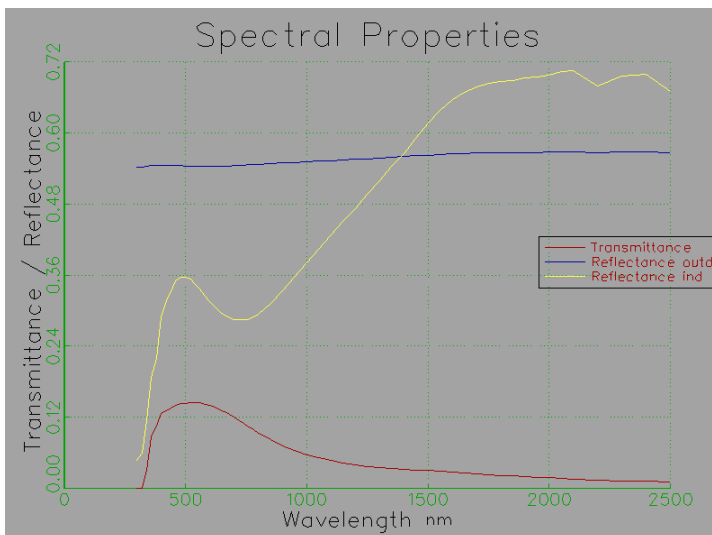
De tilsvarende beregninger for solafskærmningen monteret uden på ruden er gennemført i WIS. Resultaterne er vist i Figur 17 og Figur 18 og Tabel 5.



Figur 17. Egenskaber for kombinationen af rude og solafskærmning beregnet i WIS

Tabel 5. Optiske egenskaber for kombinationen af rude og solafskærmning beregnet i WIS.

Solenergitransmittans	$T_s = 0,10$
Lystransmittans	$\tau = 0,14$



Figur 18. egenskaber for kombinationen af rude og solafskærmning beregnet i WIS

Det fremgår, at der er en beskedne forskel på de målte og beregnede værdier af lystransmittansen for den samlede kombination af rude og solafskærmning, men der opnås samme resultat ved måling og beregning af solenergitransmittansen. Tilsvarende resultater er opnået for andre kombinationer af ruder og solafskærmninger. Herudfra konkluderes det, at WIS giver troværdige værdier og programmet er velegnet til at bestemme de optiske egenskaber for kombinationer af ruder og solafskærmninger. Der er dog behov for detaljerede undersøgelser

## **DTU Byg**

### **Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger**

af betydningen af at WIS kun tager udgangspunkt i inddata for normalstråling, og at refleksionen behandles som fuldstændig diffus, hvilket bl.a. indebærer, at der ikke kan regnes på retningen af det reflekterede lys.

## 7 LightCalc

Ved projekteringen har arkitekter og ingeniører brug for bygningssimuleringsværktøjer, som kan benyttes i den tidlige fase af projekteringsforløbet, hvor overordnede beslutninger om bl.a. bygnings- og facadeudformning træffes. Imidlertid findes der i dag ikke beregningsværktøjer, der på tilfredsstillende vis kan beregne den optimale anvendelse og energimæssige effekt af solafskærmninger samt deres indflydelse på dagslysforholdene. De værktøjer som normalt benyttes i dag er utilstrækkelige, og benytter som udgangspunkt faste værdier for sol- og lystransmittans. De tager således ikke hensyn til at disse værdier afhænger af den aktuelle kombination med rudetype, ligesom de ikke tager hensyn til at afskærmningens egenskaber ændrer sig over døgnet og året. Værktøjerne er derfor uegnede som beslutningsredskab for reguleringsformer og for helhedsvurderinger af solafskærmningers effekt på energiforbruget og det termiske indeklima samt udnyttelsen af dagslys.

I forbindelse med projektet er der derfor udviklet et nyt beregningsmodul, LightCalc, til programmet BuildingCalc (BYG.DTU, 2005), som giver mulighed for at simulere dagslysforhold i bygninger og medregne solafskærmninger i bygningssimuleringen på en retvisende måde. BuildingCalc er et effektivt bygningssimuleringsprogram som baseres på en simpel model og derfor kun kræver ganske få oplysninger om bygningen for at foretage en årssimulering til bestemmelse af termisk indeklima og energiforbrug i bygningen.

Det nye modul kan håndtere variable solafskærmninger og kan således tage hensyn til at afskærmningens egenskaber bør ændre sig over døgnet og over året. Med programmet kan der med få input foretages realistiske bygningssimuleringer med henblik på en optimering af dagslysfald, indeklima og energiforbrug.

BuildingCalc/LightCalc kræver så få input-data, at programmet kan anvendes i den tidligste skitsefase til at få et indblik i dagslys- og energimæssige forhold for bygningen. Således kan arkitekt/projekterende/rådgiver vha. programmet fra starten på en simpel måde vurdere behovet for solafskærmning inden facadeudformningen er endeligt fastlagt.

### 7.1 Teoretisk grundlag

LightCalc er baseret på en beregningsmetode, der kombinerer to forskellige måder at beregne lysindfald, *Radiosity* og *Ray-tracing*. Radiosity forudsætter at alt lys reflekteres perfekt diffust, dvs. at spejlende effekter helt ignoreres, og kan med god ret siges at gælde for alle overflader i et normalt rum. Ray-tracing anvendes til at spore de enkelte lysstråler fra deres udgangspunkt gennem et antal refleksioner indtil de endeligt absorberes. Metoden er meget præcis og fleksibel, fx kan spejlende effekter modelleres, men den er også særdeles beregnings-tung.

Algoritmerne i LightCalc underopdeler overfladerne i rummet og anvender ray-tracing til at bestemme det initiale lysniveau på hver enkelt flade ud fra hvilke dele af himlen, der er synlige fra den pågældende underflade *centrum*. Antallet af underopdelinger får derved indflydelse på nøjagtigheden af beregningen. De komplicerede refleksioner, der kan opstå i en solafskærmning beregnes ikke i LightCalc men vha. WIS. Himlens anisotrope strålingsfordeling modelleres ved at dele den op i 145 elementer (Tregenza, 1987) og anvende Perez strålingsmodel (Perez et al., 1993) til at bestemme hver enkelt elements luminans. Input til Perez model er den diffuse himmelstråling på et horisontalt plan og den direkte stråling fra solen på et plan med normalen i solens retning. Disse data indgår i verjdatasættet Danish Design Reference Year (DRY).

Fordelen ved at anvende den anisotrope Perez model med ray-tracing er, at det øgede lysindfald forrest i rummet som følge af større synlighed til himlen ikke underestimeres, og at lysindfaldet bag i rummet ikke overestimeres.

For at øge nøjagtigheden uden at beregningstiden øges yderligere beregnes en synlighedsfaktor, som kun skal beregnes én gang for en fast geometri. Den bestemmer den synlige andel af hvert element for hver underflade ved at udspænde et 10x10 net over hvert element. Udhæng og indbygningsdybde virker også obstruerende.

Himmelluminansen og synligheden af solskiven modelleres separat. I LightCalc er der indført en algoritme, som medtager den direkte strålings indfaldsvinkel og normaliserer strålingen, så den ikke over- eller underestimeres som følge af opdelingen i underflader.

Når den initielle lysfordeling er kendt som følge af ray-tracing algoritmen, forudsættes alt lys at blive reflekteret perfekt diffust. Herved kan radiosity metoden anvendes til at opstille et matrixsystem over lysgivere-, modtagere og vinkelfaktorer mellem alle underfladerne. Med løsningen af systemet fås illuminansen på alle flader i rummet. En speciel algoritme beregner desuden illuminansen på et bruger-defineret fiktivt plan, såsom arbejdsplanet (0,85 m) eller blot i et enkelt punkt.

Jordreflektans samt reflektans fra modstående bygninger behandles også. Jordreflektans modelleres som en 'omvendt' himmel med 145 elementer med uniform luminans bestemt ud fra total lysmængde fra himmel og sol og en gennemsnitlig jordreflektans (albedo) (Robinson and Stone, 2006; Mardaljevic, 1999). Reflektansen af modstående bygninger, som befinder sig under horisontal planet indgår i albedo, mens bygninger over indgår med en bruger-defineret reflektans. Interreflektioner mellem tætstående bygninger betragtes ikke.

## **7.2 Behandling af ruder og solafskærmning**

Lystransmittansen for ruden og en eventuel solafskærmning beregnes i programmet WIS og indlæses vha. en tekstfil. For en integreret dagslys og termisk beregning, der anvender persienner er det nødvendigt at genere en tekstfil med data for hver enkelt persiennestilling (ca. med 10° interval). Også screens fra WIS kan anvendes.

Hvis solafskærmningen er en persienne eller en anden form for lameller skal der i WIS foretages beregninger for forskellige lamelhældninger for at kunne medtage muligheden for at variere afskærmningen i løbet af dagen og året. F.eks. laves beregninger for 15 ° intervaller dvs. 0°, 15°, 30°, 45° osv. (0 ° svarer til vandret). For hver beregning gemmes den af WIS genererede rapport med et passende navn.

Datafilerne fra WIS indlæses i BuildingCalc/LightCalc under opbygningen af rude og programmet kan ved simulering interpolere mellem de beregnede egenskaber. Dette giver BuildingCalc/LightCalc mulighed for en effektiv styring af solafskærmningen så den kun afskærmer når der er brug for det. Med programmet følger en database, hvor et antal almindeligt forekommende rude- og solafskærmningskombinationer er indlæst.

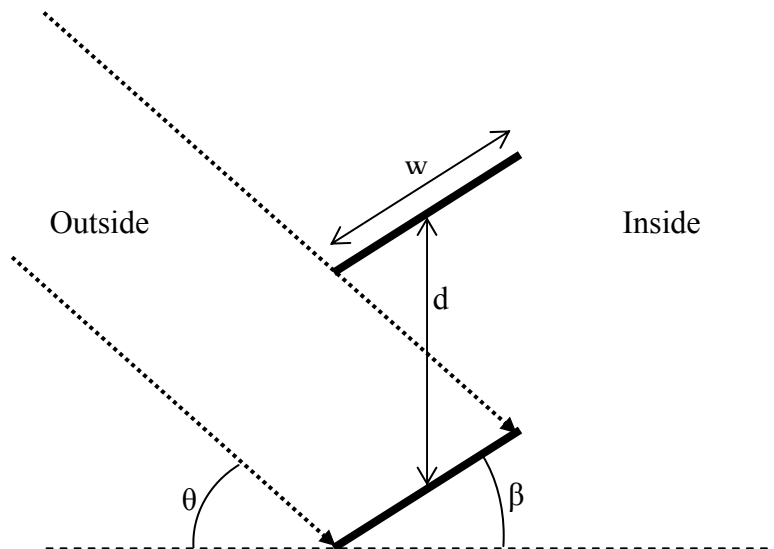
En algoritme som redirigerer lys hvis specielle spejlende persienner eller lyshylder anvendes er også implementeret. Det er dog op til brugeren selv at bestemme andelen af redirigeret lys, da WIS ikke kan håndtere spejlende materialer.

Metoden til bestemmelse af data for rude/solafskærmningssystemet i WIS samt indlæsning af data i BuildingCalc er yderligere beskrevet i ” *Procedure til bestemmelse af solafskærmnin-*

gers termiske og optiske egenskaber og deres effekt på indeklima og energiforbrug i bygninger” (se bilag 3) og i selve manualen til programmet [Nielsen, T. R. et al., 2006].

I den integrerede beregning modelleres dagslyset i et punkt for hver time gennem året og med forskellige kontrolstrategier kan brugeren estimere energiforbruget til elektrisk belysning. Der kontrolleres på to variable: indetemperaturen og blændingsrisikoen. Blænding beregnes vha. en simpliceret algoritme i Wienold og Christoffersen, 2006, hvor blændingsrisikoen er overvejende afhængig af lysmængden i øjet. Overstiges et setpunkt (indetemperatur eller blændingstærskel) sænkes solafskærmningen, og hvis det er persienner indstilles de til cut-off, dvs at de akkurat afskærer den direkte sol. Se Figur 19.

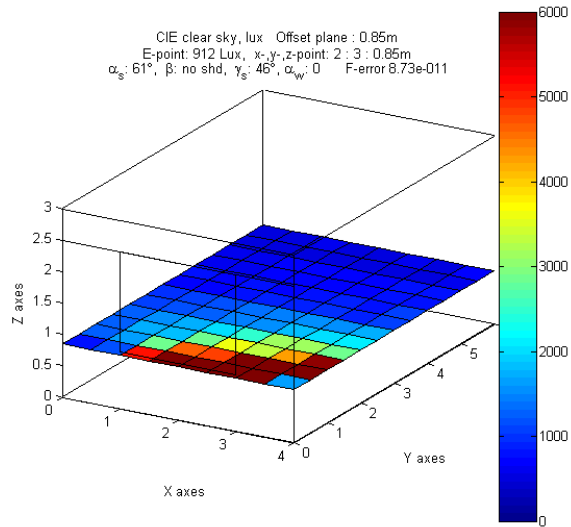
Proceduren er iterativ, så øget termisk last som følge af øget afskærmning og deraf øget belysningsbehov, medtages også.



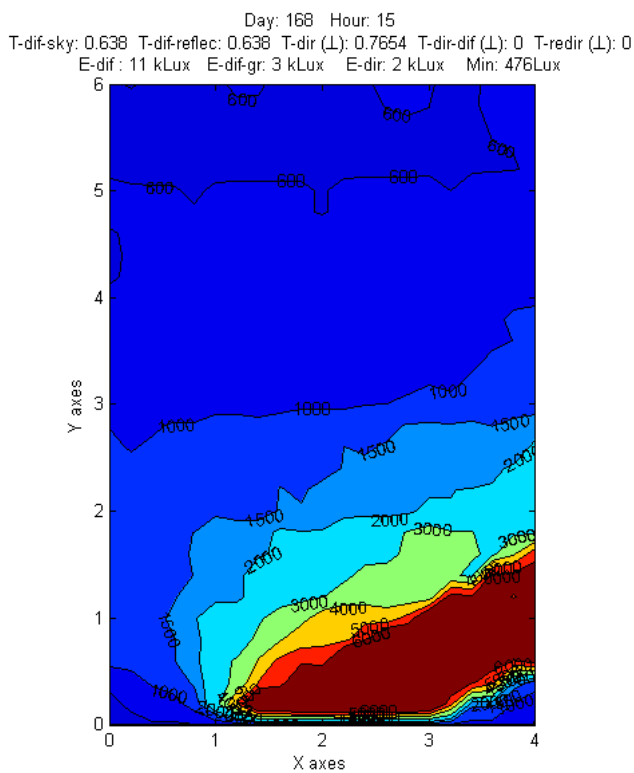
Figur 19 'Cut-off' vinkel  $\beta$  som funktion af persiennebredde, -afstand og profilvinkel  $\theta$  (indfaldsvinkel vinkelret på vinduesplan).

Med BuildingCalc/LightCalc er det muligt at beregne et detaljeret plot af dagslysfaktoren i et rum med en given solafskærmning som findes i WIS eller som kan defineres på anden måde, fx gennem Radiance (Ward and Shakespeare, 2006) eller at anvende samme solafskærmning i en termisk årssimulering til at få overblik over det elektriske belysningsforbrug og indflydelsen på det termiske indeklima.

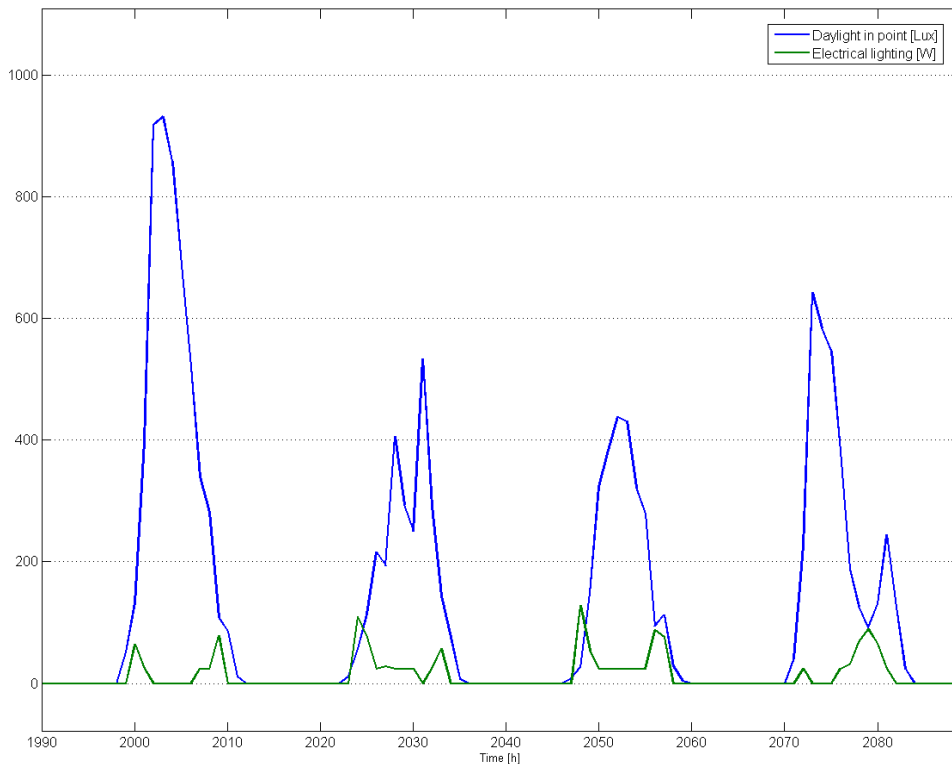
Resultaterne kan plottes med farve som herunder:



Figur 20 Dagslysfald på fiktivt plan. Himmelmодellen er klar himmel med sol og klokkeslættet er 15.00, deraf det vinklede lysindfald.



Figur 21 Kontur-plot af Figur 20. Konturerne kan defineres af brugeren, så to forskellige scenarier kan sammenlignes direkte.



Figur 22 Udpluk af resultatet fra en integreret beregning. To elektriske belysningsystemer er defineret. Et generelt system, som dæmper det elektriske lys for dagslys under 200 lux og et arbejdsplads-system, som tænder lyset for dagslys under 500 lux.

Results:							
Month	Heating [kWh]	Cooling [kWh]	Lighting [kWh]	Overheat [h]	Min PPD [%]	Mean PPD [%]	Max PPD [%]
Jan	55	0	21	0	10	11	12
Feb	44	0	10	0	7	11	12
Mar	35	0	6	0	6	11	12
Apr	17	0	2	0	5	9	11
May	0	0	2	0	5	7	10
Jun	0	0	2	0	5	6	10
Jul	0	0	1	0	5	6	10
Aug	0	0	1	0	5	6	10
Sep	0	0	3	0	5	7	10
Oct	10	0	10	0	5	9	12
Nov	33	0	19	0	7	11	12
Dec	51	0	25	0	9	11	12
All	246	0	103	0	5	9	12

Figur 23. Rapport genereret over opvarmning-, køle- og lysbehov samt overophedning og indeklima (PPD: predicted percentage dissatisfied).

BuildingCalc/LightCalc er yderligere beskrevet i en videnskabelig artikel (Hviid C.A. (2007)) , som bliver publiceret i Solar Energy Journal i 2008. Artiklen er vedlagt som bilag 2. Anvendelsen af programmet er endvidere beskrevet i brugermanualen til programmet [Nielsen, T. R. et al, 2008]

## 8 Oversigt over typiske solafskærmningers egenskaber

På basis af beregninger i WIS og enkelte målinger i goniospektrofotometret er der udarbejdet en oversigt over udvalgte typiske solafskærmningers egenskaber, se Tabel 6. Alle de viste afskærmninger findes i den nye version af databasen i WIS. De viste data gælder for selve materialet, som solafskærmningerne er lavet af. For rullegardiner/screens svarer det til egenskaberne for hele afskærmningen. For persienser og lameller er det egenskaberne for de enkelte lameller, og det svarer til egenskaberne for hele persiennen i lukket tilstand (lamellerne er i lodret position, lamelhældning =  $90^\circ$ ) hvis afstanden mellem lamellerne er mindre end bredden af lamellerne.

Tabel 6. Egenskaber for udvalgte solafskærmninger. Beregningerne er foretaget i WIS

$\lambda$  : Varmeledningsevne,  $\varepsilon_{out}$  og  $\varepsilon_{in}$ : emissivitet ude og inde,  $\tau_s$ : solenergitransmittans,  $\rho_s$ : solenergirefleksans,  $\tau_v$ : lysstransmittans,  $\rho_v$ : lysrefleksans

ID	Position/Type (Produkt navn)	Beskrivelse	Tykkelse t [mm]	Termiske egenskaber			Optiske egenskaber			
				$\lambda$ [W/mK]	IR $\varepsilon_{out}$ [-]	IR $\varepsilon_{in}$ [-]	$\tau_s$ [-]	$\rho_s$ [-]	$\tau_v$ [-]	$\rho_v$ [-]
<b>A</b>	<b>Invendige rullegardiner/screens</b>	<b>(50mm luft mellemrum mellem rude og afskærmning)</b>								
1	Verosol Roller 818-000 UT light-grey	ultra transparent (OF=40%), f. metallic, b. light-grey	0.18	0.20	0.510	0.811	0.44	0.34	0.44	0.33
2	Verosol Roller 818-741 UT beige	ultra transparent (OF=40%), f. metallic, b. Beige	0.18	0.20	0.510	0.811	0.44	0.34	0.44	0.33
3	Verosol Roller 818-936 UT dark-grey	ultra transparent (OF=40%), f. metallic, b. dark-grey	0.18	0.20	0.510	0.811	0.20	0.35	0.33	0.29
4	Verosol Roller 875-000 BO light-grey	black-out (OF=0%), f. metallic, b. light-grey	0.18	0.20	0.285	0.807	0.04	0.68	0.04	0.67
5	Verosol Roller 875-936 BO dark-grey	black-out (OF=0%), f. metallic, b. dark-grey	0.18	0.20	0.285	0.807	0.02	0.68	0.02	0.67
6	Verosol Roller 816-000 T light-grey	transparent (OF=23%), f. metallic, b. light-grey	0.23	0.20	0.506	0.802	0.29	0.44	0.29	0.43
7	Verosol Roller 816-936 T dark-grey	transparent (OF=23%), f. metallic, b. dark-grey	0.23	0.20	0.506	0.802	0.28	0.44	0.27	0.43
8	Verosol Roller 312-000 HT dark-grey	half transparent (OF=2%), f. metallic, b. light-grey	0.18	0.20	0.342	0.767	0.06	0.66	0.05	0.64
9	Verosol Roller 312-936 HT dark-grey	half transparent (OF=2%), f. metallic, b. dark-grey	0.18	0.20	0.342	0.767	0.04	0.66	0.03	0.64
10	Verosol SilverScreen white ED01 HT	half transparent (OF=4%), f. metallic, b. white	0.50	0.15	0.160	0.830	0.06	0.74	0.06	0.73
11	Verosol SilverScreen black EB01 HT	half transparent (OF=4%), f. metallic, b. black	0.50	0.15	0.160	0.810	0.05	0.75	0.05	0.74
<b>B</b>	<b>Integrerede rullegardiner/screens</b>	<b>(Placeret i mellem glassene i ruden)</b>								
12	Verosol Roller 818-000 UT light-grey	ultra transparent (OF=40%), f. metallic, b. light-grey	0.18	0.20	0.510	0.811	0.44	0.34	0.44	0.33
13	Verosol Roller 875-000 BO light-grey	black-out (OF=0%), f. metallic, b. light-grey	0.18	0.20	0.285	0.807	0.04	0.68	0.04	0.67
14	Verosol SilverScreen white ED01 HT	half transparent (OF=4%), f. metallic, b. white	0.50	0.15	0.160	0.830	0.06	0.74	0.06	0.73
15	Verosol SilverScreen black EB01 HT	half transparent (OF=4%), f. metallic, b. black	0.50	0.15	0.160	0.810	0.05	0.75	0.05	0.74
<b>C</b>	<b>Udvendige rullegardiner/screens</b>	<b>(50mm luft mellemrum mellem rude og afskærmning)</b>								
16	Verosol SilverScreen white ED01 HT	half transparent (OF=4%), f. metallic, b. white	0.50	0.15	0.160	0.830	0.06	0.74	0.06	0.73
17	Verosol SilverScreen black EB01 HT	half transparent (OF=4%), f. metallic, b. black	0.50	0.15	0.160	0.810	0.05	0.75	0.05	0.74
<b>D</b>	<b>Indvendige persiener</b>	<b>(50mm luft mellemrum mellem rude og afskærmning)</b>								
18	Luxaflex venetian blind 8% Perforation 2053	w=25mm, c=0mm, p=20mm, grey metallic	0.22	100.00	0.670	0.670	0.06	0.40	0.06	0.40
19	Luxaflex venetian blind 8% Perforation 6127	w=25mm, c=0mm, p=20mm, black	0.22	100.00	0.640	0.640	0.06	0.05	0.06	0.04
20	Luxaflex venetian blind 8027	w=25mm, c=0mm, p=20mm, supermat grey	0.22	100.00	0.819	0.819	0.00	0.56	0.00	0.62
21	Luxaflex venetian blind High Mirror 4078	w=25mm, c=0mm, p=20mm, f. high mirror, b. grey stone	0.22	100.00	0.710	0.680	0.00	0.83	0.00	0.83
22	Luxaflex venetian blind Metallic 8081	w=25mm; c=0mm; p=20mm, metallic grey	0.22	100.00	0.392	0.392	0.00	0.69	0.00	0.66
23	Luxaflex venetian blind Thermostop 2383	w=25mm; c=0mm; p=20mm, white	0.22	100.00	0.800	0.260	0.00	0.70	0.00	0.78
<b>E</b>	<b>Integrerede persiener</b>	<b>(Placeret i mellem glassene i ruden)</b>								
24	Luxaflex venetian blind 8% Perfor 2053	w=16mm, c=0mm; p=12mm, grey metallic	0.22	100.00	0.670	0.670	0.06	0.40	0.06	0.40
25	Luxaflex venetian blind 8% Perfor 6127	w=16mm, c=0mm; p=12mm, black	0.22	100.00	0.640	0.640	0.06	0.05	0.06	0.04
26	Luxaflex venetian blind 8027	w=16mm, c=0mm; p=12mm, supermat grey	0.22	100.00	0.819	0.819	0.00	0.56	0.00	0.62
27	Luxaflex venetian blind High Mirror 4078	w=16mm, c=0mm; p=12mm, f. high mirror, b. grey stone	0.22	100.00	0.710	0.680	0.00	0.83	0.00	0.83
28	Luxaflex venetian blind Thermostop 2383	w=16mm, c=0mm; p=12mm, white	0.22	100.00	0.800	0.260	0.00	0.70	0.00	0.78
<b>F</b>	<b>Udvendige persiener</b>	<b>(50mm luft mellemrum mellem rude og afskærmning)</b>								
29	Aluminium lamellas_60mm	w=60mm; c=5mm; p=42mm	0.50	150.00	0.800	0.800	0.00	0.40	0.00	0.40
30	Aluminium lamellas_80mm	w=80mm; c=5mm; p=42mm	0.50	150.00	0.800	0.800	0.00	0.40	0.00	0.40
31	Aluminium lamellas_100mm	w=100mm; c=10mm; p=92mm	0.50	150.00	0.800	0.800	0.00	0.40	0.00	0.40

Tabel 6 fortsat. Egenskaber for udvalgte solafskærmninger. Beregningerne er foretaget i WIS

$\lambda$  : Varmeledningsevne,  $\varepsilon_{out}$  og  $\varepsilon_{in}$ : emissivitet ude og inde,  $\tau_s$ : solenergitransmittans,  $\rho_s$ : solenergirefleksans,  $\tau_v$ : lystransmittans,  $\rho_v$ : lysrefleksans

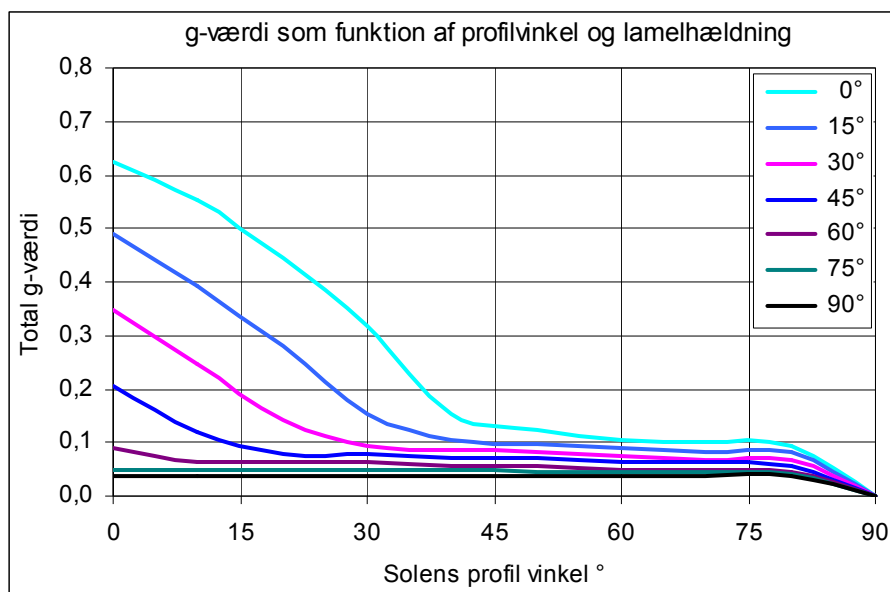
ID	Position/Type (Produkt navn)	Beskrivelse	Tykkelse t [mm]	Termiske egenskaber			Optiske egenskaber				
				$\lambda$ [W/mK]	IR $\varepsilon_{out}$ [-]	IR $\varepsilon_{in}$ [-]	$\tau_s$ [-]	$\rho_s$ [-]	$\tau_v$ [-]	$\rho_v$ [-]	
<b>G</b>	<b>Udvendige glaslameller</b>	<b>(400mm luft mellemrum mellem glaslamel og rude)</b>									
32	SGG_Antelio Silver_500mm	hard coating on the outer surface	8.00	1.00	0.837	0.837	0.63	0.25	0.66	0.31	
33	SGG_Antelio Clear_500mm	hard coating on the outer surface	8.00	1.00	0.837	0.837	0.50	0.26	0.45	0.32	
34	SGG_Reflectasol Grey_500mm	hard coating on the outer surface	8.00	1.00	0.837	0.837	0.33	0.39	0.19	0.53	
35	Glav_Stopsol Silverlight Green_500mm	hard coating on the outer surface	8.00	1.00	0.837	0.837	0.30	0.20	0.54	0.25	
<b>H</b>	<b>Solafskærmende ruder</b>	<b>(det solafskærmende glas er placeret yderst)</b>									
36	Pilkington Artic Blue™	body tinted float glass	4.00	1.00	0.837	0.837	0.49	0.06	0.67	0.06	
37	Pilkington Optifloat Clear™	body tinted float glass	4.00	1.00	0.837	0.837	0.82	0.08	0.90	0.08	
38	Pilkington Optifloat Green™	body tinted float glass	4.00	1.00	0.837	0.837	0.56	0.06	0.80	0.07	
39	Pilkington Suncool Brilliant 66-33™	soft low-e coating + high visible light transmittance	4.00	1.00	0.837	0.030	0.39	0.34	0.74	0.13	
40	Pilkington Suncool HP Silver 50-30™	soft low-e coating + high visible light transmittance	6.00	1.00	0.837	0.034	0.32	0.43	0.54	0.36	
41	SSG Antelio Silver	hard coating (applied on a clear glass)	6.00	1.00	0.837	0.837	0.63	0.21	0.66	0.29	
42	SSG Antelio Silver_outer surface coated	hard coating (applied on a clear glass)	6.00	1.00	0.837	0.837	0.63	0.25	0.66	0.31	
43	SSG Antelio Esmeralda	hard coating (applied on a body tinted glass)	6.00	1.00	0.837	0.837	0.50	0.19	0.45	0.26	
44	SSG Antelio Esmeralda_outer surface coated	hard coating (applied on a body tinted glass)	6.00	1.00	0.837	0.837	0.50	0.26	0.45	0.32	
45	SSG Reflectasol Green	hard coating	6.00	1.00	0.837	0.837	0.19	0.16	0.26	0.32	
46	SSG Cool-Lite KS147	soft coating	6.00	1.00	0.837	0.036	0.29	0.43	0.47	0.42	

## 9 BSim

BSim er et integreret edb-værktøj til analyse af bygninger og installationer. BSim rummer en samling avancerede værktøjer til simulering og beregning af bl.a. termisk indeklima, energiforbrug, dagslysforhold, fugtsimulering, naturlig ventilation og elektrisk ydelse fra bygnings-integrerede solceller.

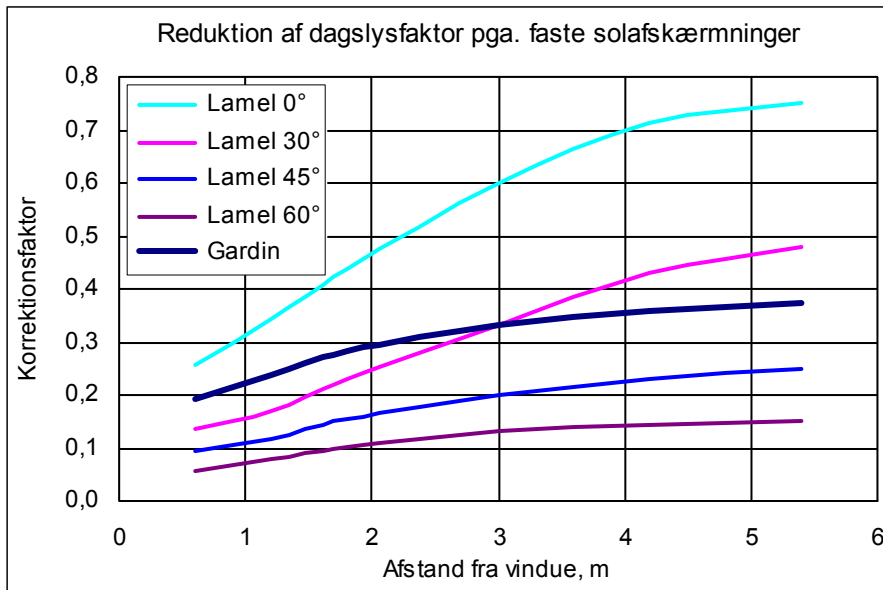
I tidligere versioner af BSim programpakken var beskrivelsen af en solafskærmning begrænset til angivelse af en fast afskærmningsfaktor. I den nye version vil afskærmningsfaktoren kunne variere, både efter afskærmningens indstilling (fx lamelhældning på en persienne) og efter tiden på dagen og året. Solens position på himlen i forhold til en given facadeorientering kan beskrives ved profilvinklen, som er solhøjdens projektion på et lodret plan vinkelret på facaden, jf. side 16. For hver time i året, som simuleres med BSim, beregnes profilvinklen og herudfra kan man beregne hvordan afskærmningsfaktoren eller g-værdien (den totale solvarmetransmittans) for det samlede system varierer henover dagen og året. Det bemærkes, at mens g-værdien i datablade for ruder og afskærmninger normalt kun angives for stråling vinkelret på ruden, så er den her angivet for enhver indfaldsvinkel af den direkte stråling, ligesom den også angives for diffus stråling.

Figur 24 viser et eksempel på, hvordan den totale solvarmetransmittans (g-værdi) afhænger af solens profilvinkel og lamelhældningen for en udvendig persienne. Vinduessystemet består af en energirude plus en udvendig grå persienne.



Figur 24. Sammenhæng mellem den totale solvarmetransmittans (g-værdi) og solens profilvinkel samt lamelhældningen for en udvendig grå persienne i kombination med en energirude.

Selv en åben afskærmning med lameller (fx en persienne med vandrette lameller) reducerer dagslyset i rummet bagved meget betydeligt. Derfor er det vigtigt at afskærmningen kan trækkes bort fra vinduet, når himlen er skyet eller overskyet, hvilket den er i ca. 2/3 af dagtimerne. Figur 25 viser hvor meget dagslyset reduceres ved forskellige lamelhældninger som funktion af afstanden fra vinduet.



Figur 25. Reduktion af dagslyset, udtrykt ved en reduktion i beregnet dagslysfaktor, ved forskellige lamelhældninger for en persienne samt for et typisk gardin.

Med den nye version af BSim er det muligt at tage hensyn til variationerne i dagslyset i et rum som funktion af en lamelbaseret afskærmning (fx en persienne). Det vil også være muligt at simulere mere realistiske reguleringsstrategier, for eksempel en strategi, der indstiller lamellerne således at direkte sollys netop holdes ude (såkaldt cut-off regulering).

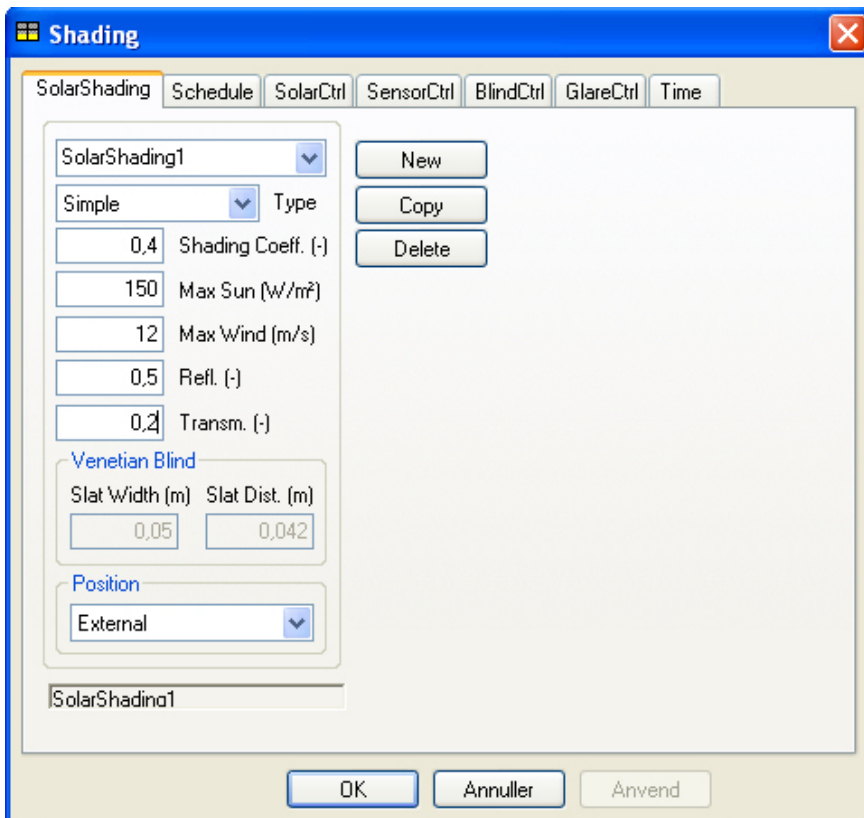
### 9.1 Beskrivelse af solafskærmning og nye reguleringsformer i BSim

Til hvert vindue i en BSim-model kan der tilknyttes en solafskærmning, som beskrives gennem data i dialogen vist i figur 26. Afskærmningen beskrives ved nogle ganske få parametre, der beskriver de fysiske egenskaber, som vist i tabel 7.

Tabel 7. Data i BSim for dialogen SolarShading. Parametre i grå felter anvendes kun i specialtilfælde.

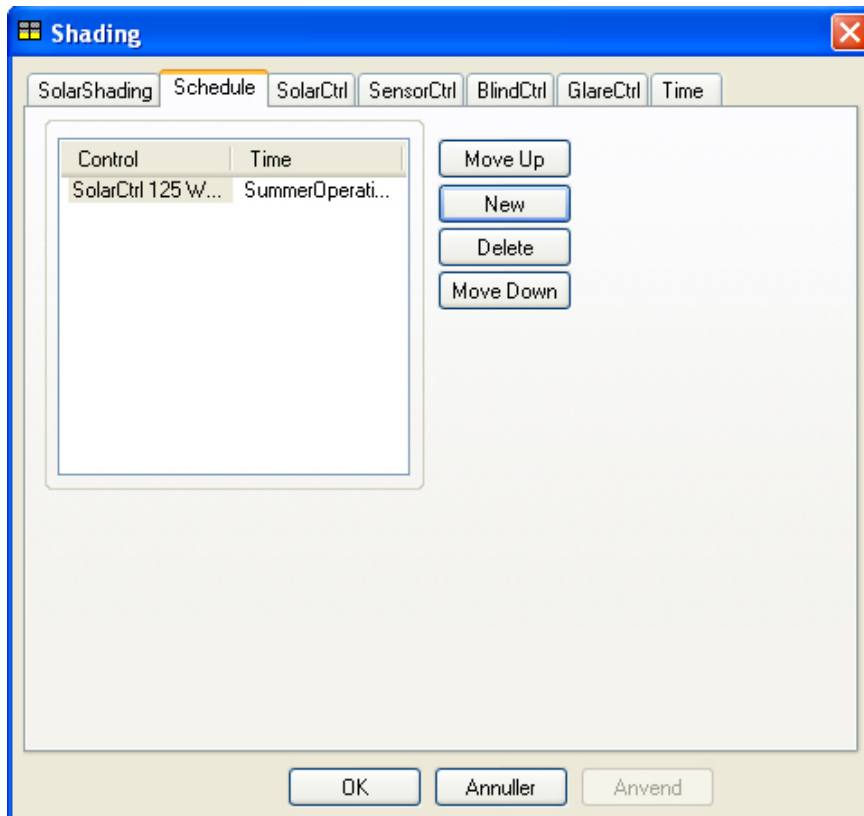
Parameter	Beskrivelse	Varianter / interval, enhed	Standardværdi
Type	Afskærmningstype, hvor Simple er udefineret	Simple, Venetian, Screen, Curtain	Simple
Max Wind	Vindhastighed, hvorover afskærmningen sættes ud af funktion. Kun aktiv, når Position er external	0 – 30 m/s	0
Refl.	Reflektans af afskærmning, fx lamelreflektans	0 – 1,0	0,5
Transm.	Transmittans af afskærmning, fx lameltransmittans	0 – 1,0	0,1
Position	Placering af afskærmning i forhold til vindue	External, internal, integrated	Internal
Shading Coeff.	Solafskærmningsfaktor, benyttes kun i forbindelse med GlareCtrl for afskærmninger af typen Screen eller curtain samt for modeller fra tidligere BSim-versioner	0 – 1,0	0,5

Max Sun	Grænse for solindfald, hvorover afskærmningen aktiveres for at holde denne værdi. Benyttes kun i forbindelse med modeller fra tidligere BSim-versioner	0 – 800 W/m <sup>2</sup>	150 W/m <sup>2</sup>
Slat Width	Lamelbredde, kun aktiv når Type er Venetian	0 – 0,5 m	0,05 m
Slat Dist.	Lamelafstand, kun aktiv når Type er Venetian	0 – 0,5 m	0,042 m



Figur 26. BSim dialog for definition af data for solafskærmningen. Værdier for Shading Coeff. og Max Sun anvendes kun, såfremt der ikke er angivet værdier i de tilhørende reguleringer. Data for Slat Width og Slat Dist. er kun aktuelle for afskærmning af typen Venetian.

Solafskærmningens funktion beskrives, som for alle andre systemer i BSim, gennem en tidsplan (Schedule), hvori der for en eller flere tidsangivelser (Time) angives, hvilken regulering (Control), der er aktuel, se figur 27. Der kan angives et ubegrænset antal tidsangivelser og tilhørende reguleringer for solafskærmningen.



Figur 27. BSim dialog for angivelse af regulering reguleringsform(er) indenfor tilhørende tidsangivelser(r). Der kan principielt angives et ubegrænset antal tidsangivelser og tilhørende reguleringer.

Der kan vælges følgende fire forskellige afskærmningsformer:

SolarCtrl, der regulerer efter solindfald og operativ temperatur

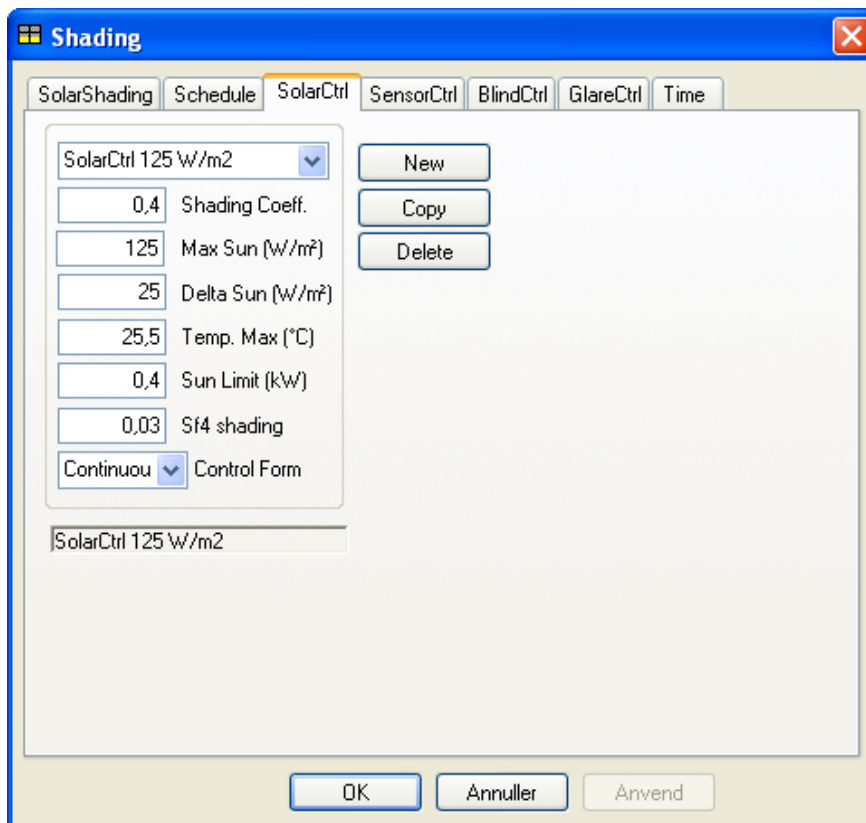
SensorCtrl, der styrer efter lysindfald på facaden

BlindCtrl, der for en afskærmning af lameltype regulerer efter solindfald og direkte sol

GlareCtrl, der regulerer afskærmningen for at minimere visual discomfort (primært blænding)

### 9.1.1 *Regulering efter solindfald og temperatur, SolarCtrl*

Ved denne afskærmningsform reguleres afskærmningen efter solindfaldet gennem det aktuelle vindue, se figur 28. Der angives en grænse for, hvor stort solindfaldet må være (Max Sun,  $W/m^2$ ), før afskærmningen aktiveres. Når denne grænse i en given halvtime overskrides trækkes afskærmningen så meget for, at grænseværdien (så vidt muligt) overholdes. Hvis solindfaldet i den efterfølgende halvtime stiger, undersøges det, om afskærmningen igen skal reguleres. Hvis solindfaldet ved den aktuelle indstilling af afskærmningen overskrider værdien af (Max Sun + Delta Sun,  $W/m^2$ ), reguleres afskærmningen så denne nye grænseværdi (summen) (så vidt muligt) overholdes. Ved at angive en høj værdi af Delta Sun vil der være relativt færre reguleringer af afskærmningen i løbet af dagen. Samtidig med regulering af afskærmningen efter solindfaldet kan solafskærmningen også regulere efter den aktuelle operative temperatur i den aktuelle termiske zone. Kriteriet for at afskærmningen aktiveres er, at temperaturgrænsen (Temp. Max,  $^{\circ}C$ ) overskrides. Er dette tilfældet, reguleres afskærmningen så meget, at temperaturgrænsen (så vidt muligt) overholdes. Regulering efter temperaturen vil dog kun ske, hvis det samlede solindfald gennem alle vinduer i den termiske zone overstiger grænseværdien Sun Limit (i kW). Regulering af afskærmningen, både ud fra solindfaldskriteriet og temperaturkriteriet, kan ske ved tre forskellige reguleringsformer: on/off, 0 - 1/2 - 1 samt kontinuerlig. Tabel 8 giver en oversigt over data i dialogen for SolarCtrl.



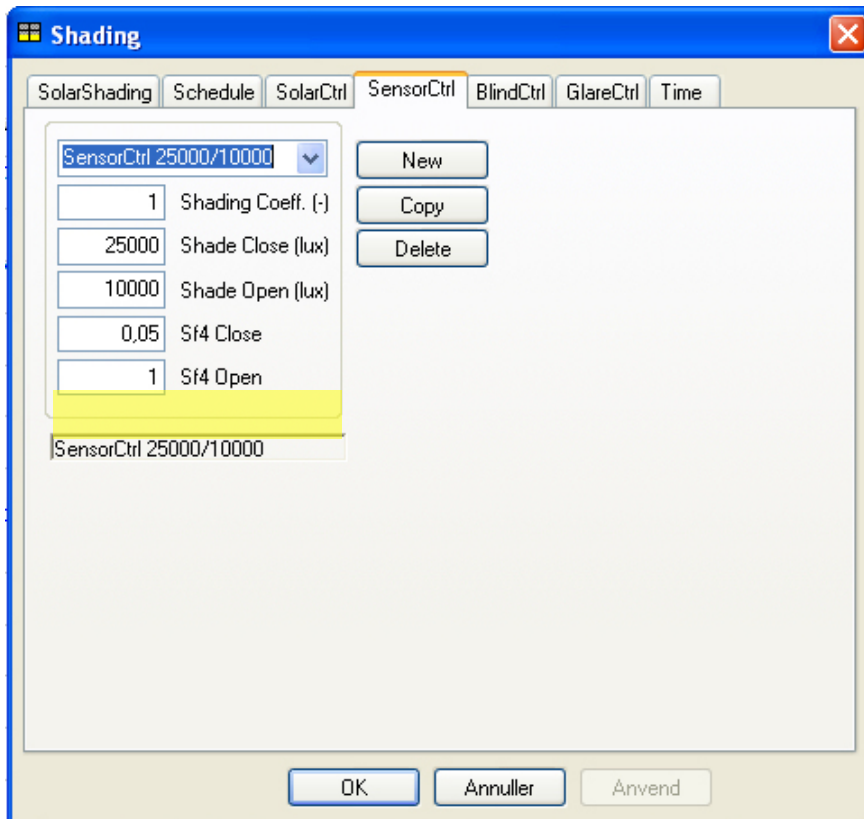
Figur 28. BSim dialog for definition af reguleringstypen SolarCtrl.

Tabel 8. Data i BSim-dialogen for reguleringstypen SolarCtrl.

Parameter	Beskrivelse	Varianter / interval, enhed	Standardværdi
Shading Coeff.	Solafskærmningsfaktor for afskærmningen, når den er trukket helt for. Denne værdi overskriver evt. værdi angivet for systemet SolarShading	0 – 1,0	0,5
Max Sun	Grænse for solindfaldet gennem det aktuelle vindue, hvorover afskærmningen aktiveres	0 – 800 W/m <sup>2</sup>	150 W/m <sup>2</sup>
Delta Sun	Benyttes til at bestemme ny grænse for afskærmningen, når den i forvejen er aktiveret. Når solindfaldet ved den aktuelle indstilling ændrer sig med en værdi (+/-) på mindst Delta Sun, justeres afskærmningen igen.	0 – 500 W/m <sup>2</sup>	75 W/m <sup>2</sup>
Temp Max	Grænse for den operative temperatur, hvorover afskærmningen aktiveres (så vidt muligt, og hvis det samlede solindfald samtidig overstiger SunLimit.	10 – 40 °C	26 °C
Sun Limit	Nedre grænse for det samlede solindfald gennem alle vinduer i den aktuelle termiske zone, hvorunder regulering efter temperaturkriteriet <i>ikke</i> kommer i funktion	0 – 20 kW	0,3 kW
Sf4 shading	Sollysfaktor for vinduet med afskærmningen trukket helt for	0 – 0,5	0,05
Control Form	Reguleringsprincip for afskærmningen	on/off - 0-½-1 - Continuous	Continuous

### 9.1.2 Regulering efter lysføler på facaden, SensorCtrl

Ved denne afskærmningsform styres afskærmningen efter lysindfaldet på facaden, se figur 29. Når belysningsstyrken målt udvendigt på fladen, hvori det aktuelle vindue er placeret, overstiger værdien af Shade Close (lux), trækkes afskærmningen for. Afskærmningen forbliver trukket for, indtil belysningsstyrken på facaden falder under værdien Shade Open (lux). Figur 29 viser dialogen for definition af reguleringstypen SensorCtrl.



Figur 29. BSim dialog for definition af SensorCtrl.

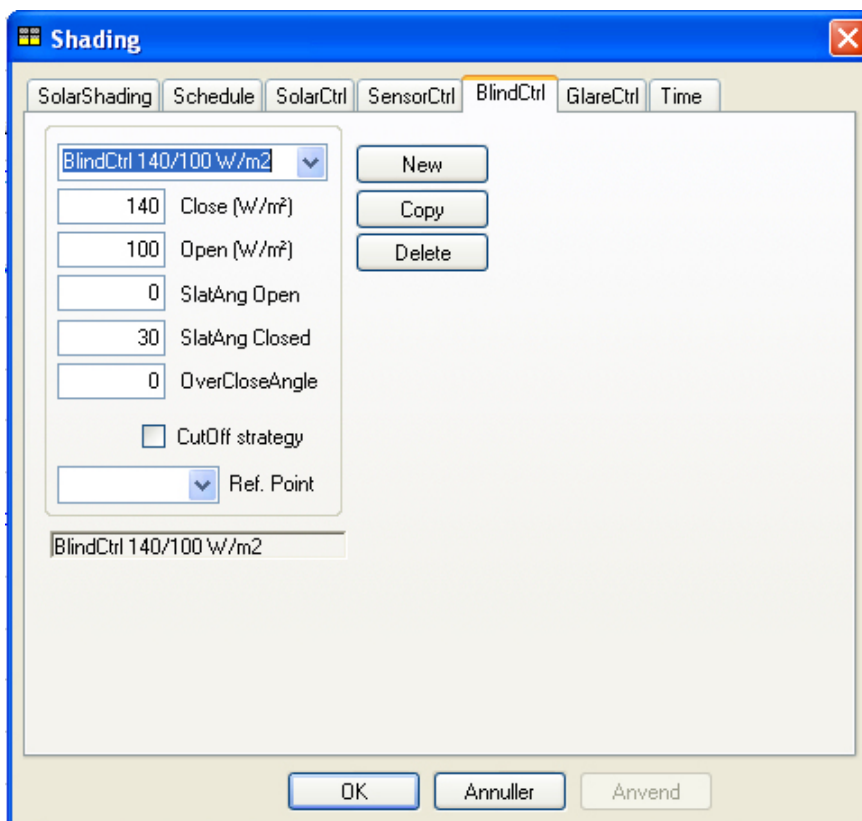
Tabel 9. Data i BSim-dialogen for reguleringstypen SensorCtrl.

Parameter	Beskrivelse	Varianter / interval, enhed	Standardværdi
Shading Coeff.	Solafskærmningsfaktor for afskærmningen, når den er trukket helt for. Denne værdi overskriver evt. værdi angivet for systemet SolarShading	0 – 1,0	0,5
Shade Close	Grænse for lysindfaldet (belysningsstyrken) på facaden, hvorover afskærmningen trækkes for	3.000 – 80.000 lux	20.000 lux
Shade Open	Grænse for lysindfaldet (belysningsstyrken) på facaden, hvorunder afskærmningen trækkes fra	2.000 – 20.000 lux	10.000 lux
Sf4 shading	Sollysfaktor for vinduet med afskærmningen trukket for	0 – 0,5	0,05

### 9.1.3 Regulering med lameller efter solindfald og direkte solstråling, *BlindCtrl*

Denne afskærmningsform kan benyttes ved regulering af persienner eller andre typer afskærmninger med drejelige lameller. Afskærmningen reguleres efter størrelsen af solindfaldet gennem systemet rude + afskærmning. Reguleringen er bestemt af grænseværdier af solindfaldet for, hvornår afskærmningen aktiveres (lukkes mere i) og for, hvornår den deaktiveres (åbnes mere), se figur 30. Ved starten af den aktuelle tidsangivelse antages solafskærmningen at være i indstilling "Open". Hvis solindfaldet i denne indstilling overstiger værdien af Close ( $W/m^2$ ), lukker lamellerne mere i, indtil værdien af solstrålingen gennem systemet kommer ned på værdien af Close. Solstrålingen beregnes ved tabelopslag af g-værdi for den aktuelle profilvinkel. Da der er forskellige g-værdier for direkte og diffus stråling (sidstnævnte er uafhængig af profilvinkel), må den optimale drejning findes ved iteration. g-værdier for direkte og for diffus stråling er vist i tabel 11 - tabel 14.

Det er vigtigt at bemærke, at afskærmningsfaktoren for afskærmningen er den "aktuelle" faktor, som gælder for afskærmningen 'alene', men i kombination med den aktuelle rudetype. Det betyder, at den resulterende g-værdi for rude + afskærmning bestemmes som aktuel solvarmetransmittans (eller 'g-værdi') for afskærmningen ganget med g-værdi for ruden. Typiske g-værdier for forskellige rudetyper er vist i figur 31.



Figur 30. BSim dialog for definition af afskærmningstype BlindCtrl for afskærmninger med drejelige lameller.

Tabel 10. Data i BSim-dialogen for reguleringstypen BlindCtrl.

Parameter	Beskrivelse	Varianter / interval, enhed	Standardværdi
Close	Grænse for solindfaldet gennem afskærmningen, hvorover afskærmningen aktiveres (lukkes mere i)	50 – 800 W/m <sup>2</sup>	150
Open	Grænse for solindfaldet gennem afskærmningen, hvorunder afskærmningen aktiveres (lukkes mere op)	20 – 500 W/m <sup>2</sup>	80
SlatAngle Open	Hældningen på afskærmningens lameller i åben position	0-45	0
SlatAngle Close	Hældningen på afskærmningens lameller i lukket position	30-90	90
OverClose Angle	Tillæg til cut-off vinkel, som kun benyttes ved Cut-off strategi (se side 56)	0-5	0
CutOff Strategy	Reguleringsstrategi, hvor afskærmningens lameller lukkes så meget i, at direkte sol netop udelukkes	til / fra	fra

Den totale soltransmittans ved en given vinkel ( $\beta$ ) på afskærmningens lameller bestemmes af:

$$E_{total} = E_{dif} \cdot g_{s,dif}(\beta) \cdot g_{g,dif} + E_{dir} \cdot g_{s,dir}(\beta, \theta_p) \cdot g_{g,dir}(\theta_i)$$

$E_{total}$  er den totale transmitterede solstråling, W/m<sup>2</sup>

$E_{dif}$  er udvendig diffus strålingsintensitet, W/m<sup>2</sup>

$E_{dir}$  er udvendig direkte strålingsintensitet, W/m<sup>2</sup>

$g_{s,dif}$  er total solstrålingstransmittans for afskærmningen for diffus stråling ved den givne hældning ( $\beta$ ) af lamellerne

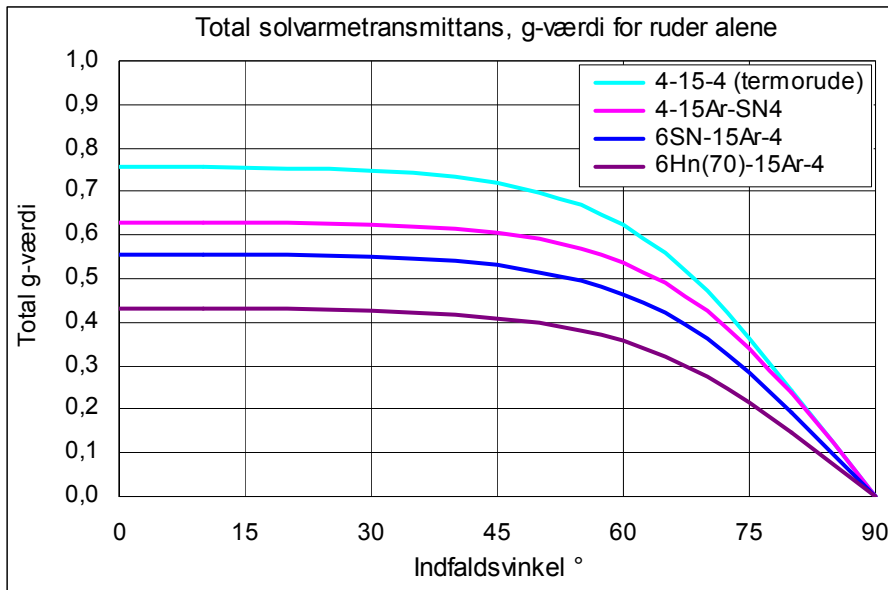
$g_{s,dir}$  er total solstrålingstransmittans for afskærmningen for direkte stråling ved den aktuelle hældning ( $\beta$ ) af lamellerne og den aktuelle profilvinkel  $\theta_p$

$g_{g,dif}$  er rudens solstrålingstransmittans for direkte stråling ved den aktuelle indfaldsvinkel ( $\theta_i$ )

$\beta$  er hældningen af afskærmningens lameller, målt fra vandret

$\theta_p$  er profilvinklen, se side 16

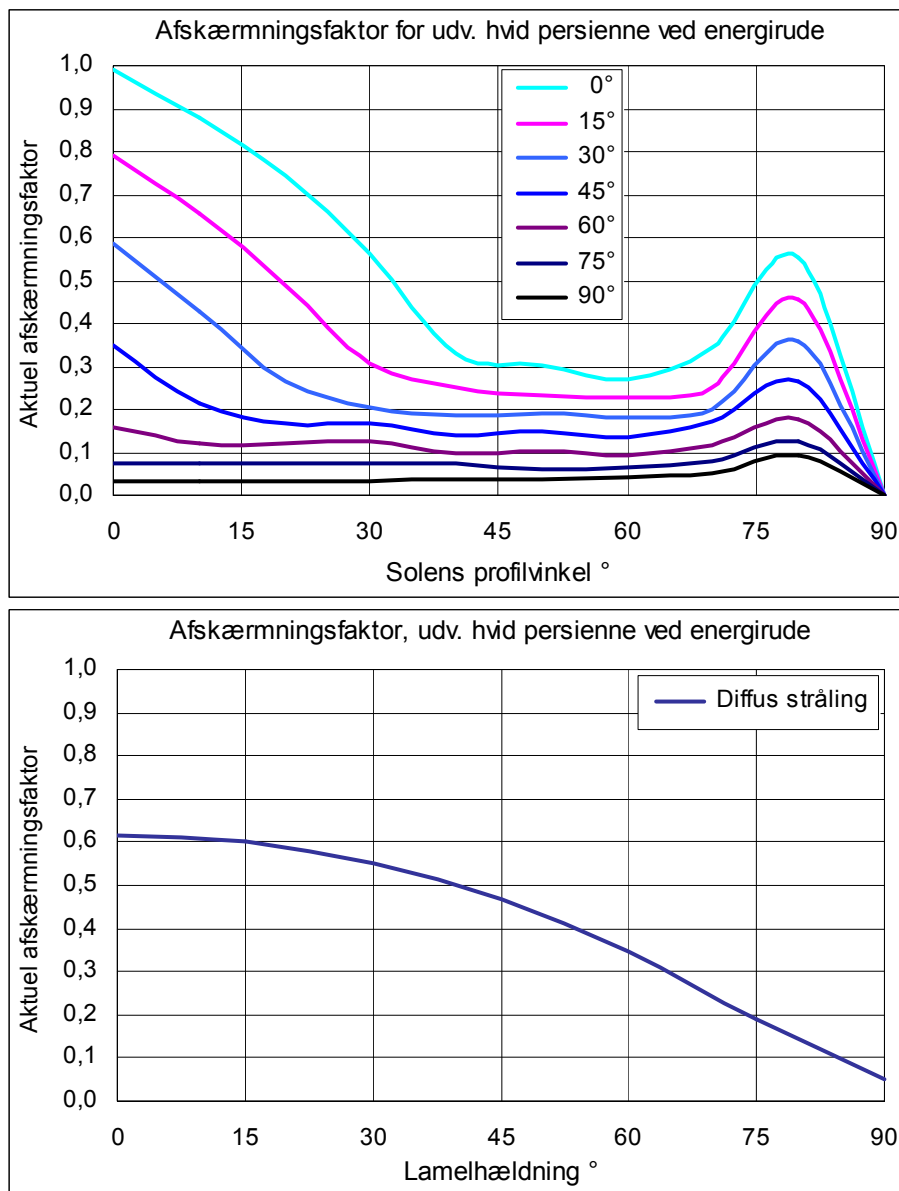
$\theta_i$  er indfaldsvinklen for den direkte solstråling



Figur 31. g-værdier for ruder som funktion af indfaldsvinklen. De fire rudetyper er (fra oven): En traditionel termorude (U-værdi ca.  $2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), 2 energiruder med energibelægningen på henholdsvis det yderste og det inderste glas samt en solafskærmende rude. U-værdi for de sidste 3 ruder er ca.  $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Tabel 11. Soltransmittans for udvendig, hvid afskærmning 'alene', når den anvendes sammen med energirude.

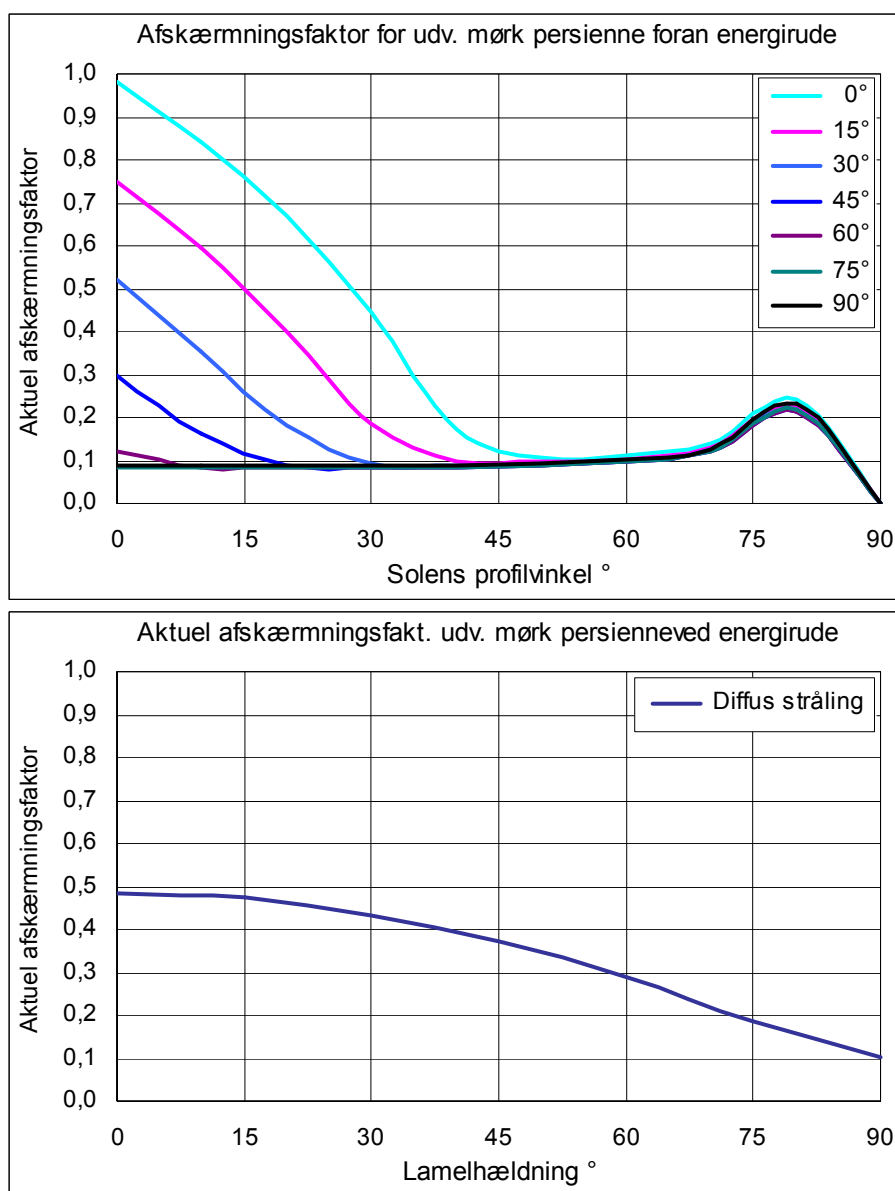
Aktuel soltransmittans for udv. hvid (RS = 0,70) persienne foran energirude 4-15Ar-SN4		Lamelhældning						
		Profilvinkel	0	15	30	45	60	75
$g_{s,dir}$	0	0,99	0,79	0,59	0,35	0,16	0,07	0,03
	10	0,88	0,66	0,43	0,22	0,12	0,07	0,03
	20	0,74	0,49	0,27	0,17	0,12	0,07	0,03
	30	0,56	0,31	0,21	0,17	0,12	0,08	0,03
	40	0,33	0,25	0,18	0,14	0,10	0,08	0,03
	50	0,30	0,23	0,19	0,15	0,10	0,06	0,04
	60	0,27	0,23	0,18	0,14	0,09	0,06	0,04
	70	0,34	0,25	0,20	0,17	0,11	0,08	0,05
	80	0,55	0,46	0,36	0,26	0,18	0,12	0,09
	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$g_{s,dif}$	diff	0,62	0,60	0,55	0,47	0,35	0,19	0,05



Figur 32. Aktuel afskærmningsfaktor for en udvendig hvid lamelafskærmning alene - når den anvendes sammen med den angivne energirude - for direkte stråling som funktion af profilvinkel og lamelhældning og for diffus stråling som funktion af lamelhældning.

Tabel 12. Soltransmittans for udvendig, mørk afskærmning 'alene', når den anvendes sammen med energirude.

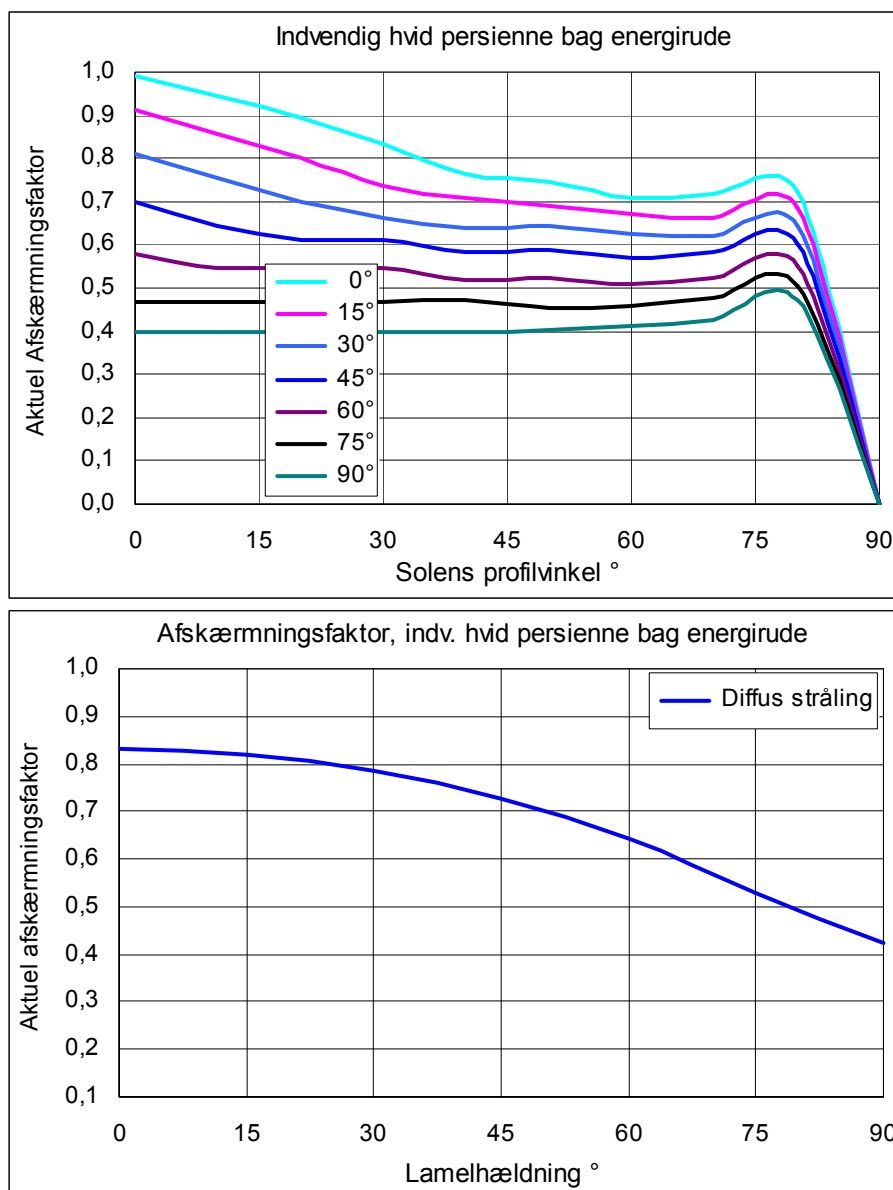
		Lamelhældning						
Profilvinkel		0	15	30	45	60	75	90
$g_{s,dir}$	0	0,98	0,75	0,52	0,31	0,12	0,09	0,09
	10	0,84	0,59	0,36	0,16	0,09	0,08	0,09
	20	0,67	0,40	0,18	0,09	0,08	0,08	0,09
	30	0,45	0,19	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09
	40	0,17	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
	50	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
	60	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	70	0,14	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13
	80	0,24	0,23	0,22	0,21	0,21	0,22	0,23
	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$g_{s,dif}$	diff	0,48	0,47	0,43	0,37	0,29	0,19	0,10



Figur 33. Aktuel afskærmningsfaktor for en udvendig mørk persienne alene - når den anvendes sammen med den angivne energirude - for direkte stråling som funktion af profilvinkel og lamelhældning og for diffus stråling som funktion af lamelhældning.

Tabel 13. Soltransmittans for indvendig, hvid afskærmning 'alene', når den anvendes sammen med energirude.

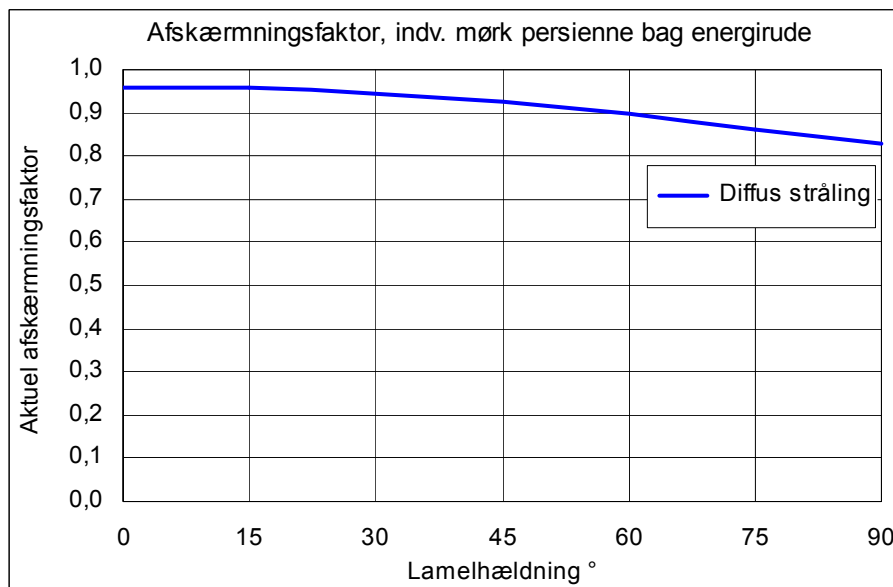
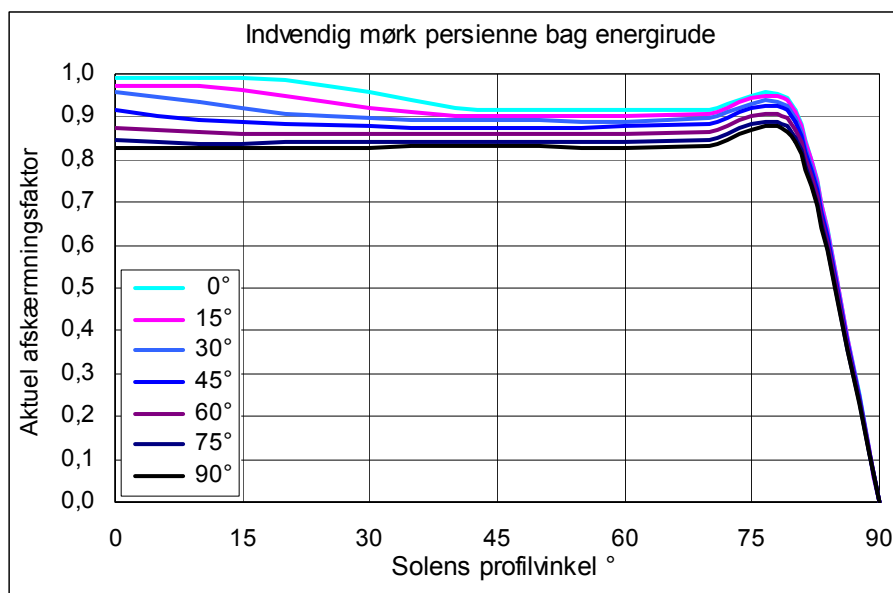
		Aktuel soltransmittans for indv. hvid (RS = 0,70) persienne bag energirude 6SN-15Ar-4						
		Lamelhældning						
	Profilvinkel	0	15	30	45	60	75	90
$g_{s,dir}$	0	0,99	0,91	0,81	0,70	0,58	0,47	0,40
	10	0,94	0,86	0,76	0,64	0,55	0,47	0,40
	20	0,89	0,80	0,70	0,61	0,55	0,47	0,40
	30	0,83	0,74	0,66	0,61	0,55	0,47	0,40
	40	0,76	0,71	0,64	0,59	0,52	0,47	0,40
	50	0,74	0,69	0,64	0,59	0,52	0,45	0,40
	60	0,71	0,67	0,63	0,57	0,51	0,46	0,41
	70	0,72	0,66	0,62	0,59	0,52	0,48	0,43
	80	0,72	0,69	0,64	0,60	0,55	0,51	0,47
	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$g_{s,dif}$	diff	0,83	0,82	0,79	0,73	0,64	0,53	0,43



Figur 34. Aktuel afskærmningsfaktor for en indvendig hvid lamelafskærmning alene - når den anvendes sammen med den angivne energirude - for direkte stråling som funktion af profilvinkel og lamelhældning og for diffus stråling som funktion af lamelhældning.

Tabel 14. Soltransmittans for indvendig, mørk afskærmning 'alene', når den anvendes sammen med energirude.

Aktuel soltransmittans for indv. mørk (RS = 0,10) persienne bag energirude 6SN-15Ar-4		Lamelhældning						
		0	15	30	45	60	75	90
$g_{s,dir}$	Profilvinkel							
	0	0,99	0,98	0,96	0,92	0,87	0,85	0,83
	10	0,99	0,97	0,93	0,89	0,87	0,84	0,83
	20	0,99	0,95	0,91	0,88	0,86	0,84	0,83
	30	0,96	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,83
	40	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84	0,83
	50	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84	0,83
	60	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84	0,83
	70	0,91	0,91	0,90	0,88	0,86	0,85	0,83
	80	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,84
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
$g_{s,dif}$	diff	0,96	0,96	0,95	0,93	0,90	0,86	0,83



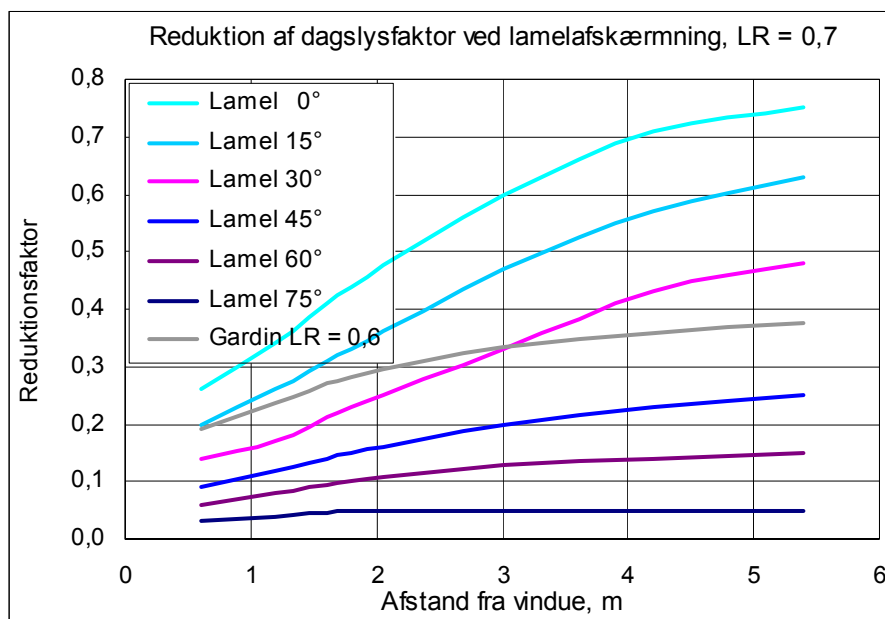
Figur 35. Aktuel afskærmningsfaktor for en indvendig mørk lamelafskærmning alene - når den anvendes sammen med den angivne energirude - for direkte stråling som funktion af profilvinkel og lamelhældning og for diffus stråling som funktion af lamelhældning.

### 9.1.3.1 Reduktion af dagslyset ved brug af lamelafskærmning

Når den aktuelle vinkel på afskærmningens lameller er beregnet ud fra ovenstående tabeller, kan lysreduktionen i et valgt referencepunkt beregnes ud fra nedenstående tabel 15. Ved lysberegningen skelnes der ikke mellem, om afskærmningen er placeret indvendigt eller udvendigt. Forløbet af reduktionsfaktoren for en hvid afskærmning er vist i figur 36, hvoraf det fremgår at lysreduktionen er væsentligt større tæt ved vinduet end længere inde i rummet. Reduktionsfaktoren kan benyttes ved simulering af dagslysstyring i BSim, idet den også benyttes som en tilnærmelse ved beregnede sollysfaktorer.

Tabel 15. Lamelafskærmningers reduktion af dagslyset i afhængighed af afstanden fra vinduet.

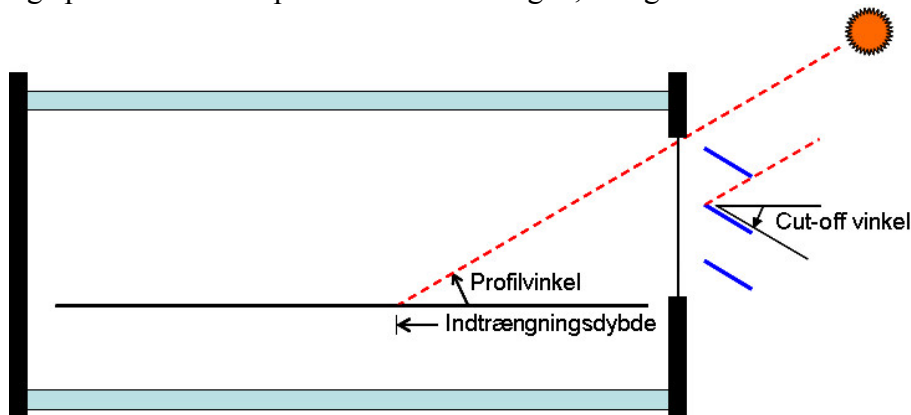
		Lamelafskærmningens reduktion af dagslysfaktoren som funktion af afstand fra vinduet							
		afstand	Lamelhældning						
		0	15	30	45	60	75	90	Gardin
hvid R = 0,7	0,60	0,26	0,20	0,14	0,09	0,06	0,03	0,00	0,19
	1,20	0,34	0,26	0,17	0,12	0,08	0,04	0,00	0,24
	1,80	0,44	0,33	0,23	0,15	0,10	0,05	0,00	0,28
	3,00	0,60	0,47	0,33	0,20	0,13	0,05	0,00	0,33
	4,20	0,71	0,57	0,43	0,23	0,14	0,05	0,00	0,36
	5,40	0,75	0,63	0,48	0,25	0,15	0,05	0,00	0,38
grå R = 0,4	0,60	0,19	0,13	0,08	0,05	0,03	0,02	0,00	0,15
	1,20	0,30	0,19	0,11	0,07	0,04	0,03	0,00	0,20
	1,80	0,40	0,26	0,15	0,09	0,06	0,04	0,00	0,23
	3,00	0,57	0,38	0,23	0,13	0,08	0,04	0,00	0,27
	4,20	0,64	0,44	0,29	0,15	0,09	0,04	0,00	0,30
	5,40	0,75	0,54	0,37	0,19	0,10	0,04	0,00	0,31
sort R = 0,1	0,60	0,12	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,10
	1,20	0,25	0,12	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,10
	1,80	0,37	0,19	0,08	0,03	0,01	0,01	0,00	0,10
	3,00	0,53	0,29	0,13	0,07	0,02	0,01	0,00	0,10
	4,20	0,57	0,31	0,14	0,07	0,03	0,02	0,00	0,10
	5,40	0,75	0,45	0,25	0,13	0,05	0,02	0,00	0,10



Figur 36. Typisk reduktion af dagslyset ved en solafskærmning med hvide lameller. Reduktionsfaktoren kan benyttes ved simulering af dagslysstyring i BSim, idet den også benyttes som en tilnærmelse ved beregnede sollysfaktorer.

### 9.1.4 Cut-off styring

Cut-off styring er en særlig reguleringsvariant for afskærmningstyper med lameller. Ved denne reguleringsform indstilles afskærmningens lameller i en sådan vinkel at direkte solstråling lige præcis ikke kan passere afskærmningen, se figur 37.



Figur 37.

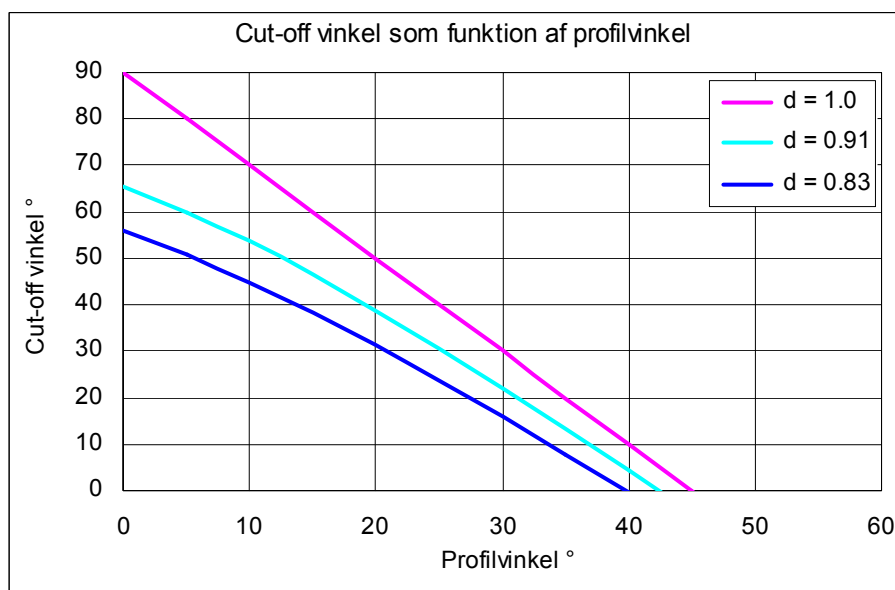
Den kritiske åbningsvinkel (cut-off) afhænger af solens profilvinkel samt forholdet mellem afstand og bredde af afskærmningslameller. Cut-off vinklen kan bestemmes af:

$$\beta_c = \arctan \left\{ \frac{\tan \theta \pm d \cdot \sqrt{1 + \tan^2 \theta - d^2}}{d^2 - 1} \right\} \quad (\text{hvor minus skal benyttes})$$

$\theta$  er profilvinklen beregnet ud fra solens-vinduets azimut samt solhøjden, se side 16.

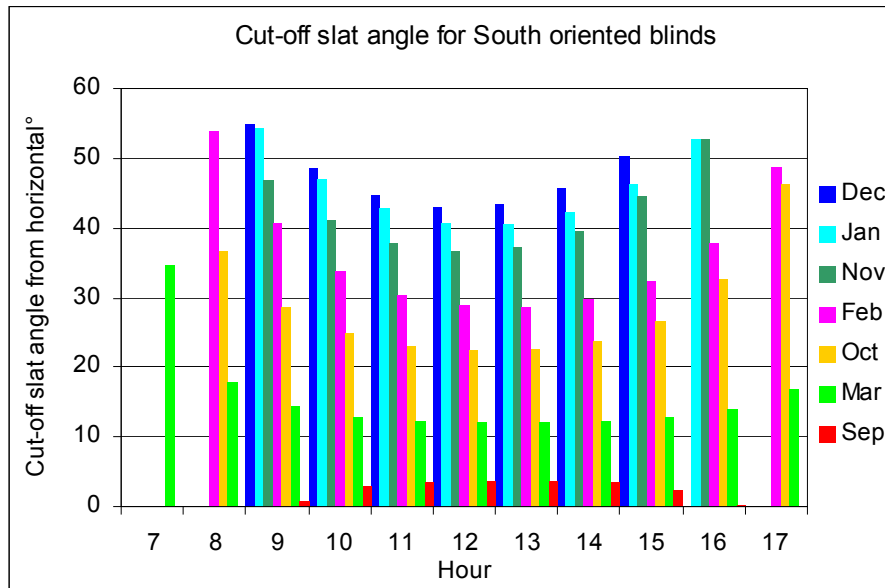
$d$  er forholdet mellem lamellernes afstand og deres bredde

For en traditionel (indvendig) persienne er der typisk et overlap af lamellerne på ca. 20 % i lukket tilstand, hvilket giver en værdi af  $d = 1 / 1,2 = 0,83$ . Figur 38 viser kurver for cut-off vinklen som funktion af profilvinklen ved forskellige forhold mellem bredde og afstand af lamellerne.



Figur 38. Variationen i CutOff vinkel for en lamelbaseret solafskærmning som funktion af solens profilvinkel og for forskellige forhold ( $d$ ) mellem lamelafstand og lamelbredde.

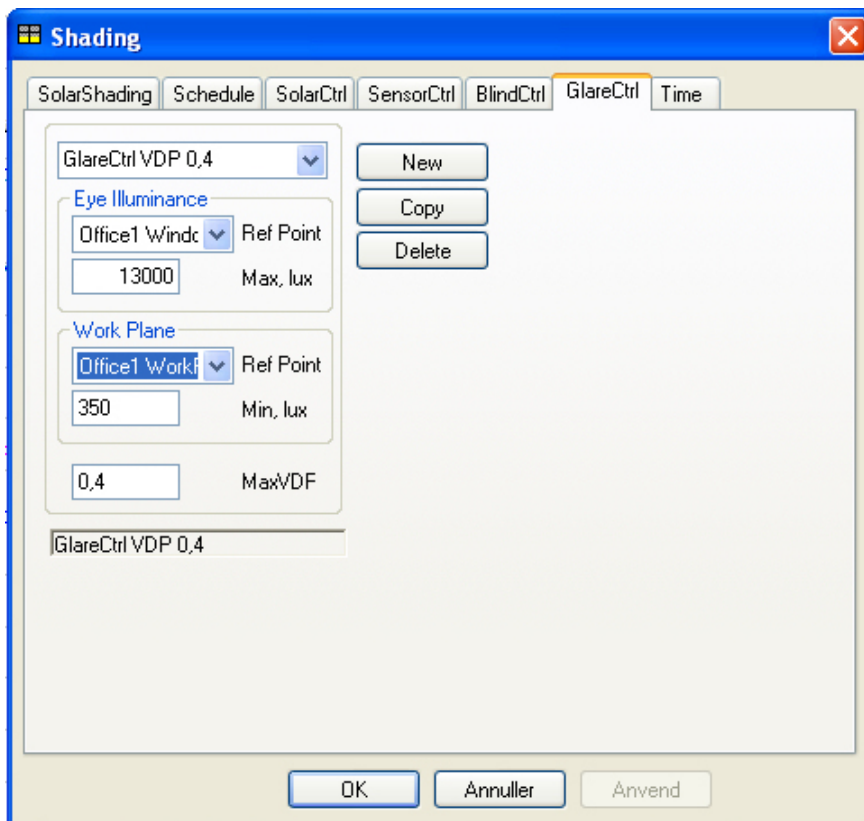
Når feltet for CutOff Strategy er hakket af i BlindCtrl dialogen (figur 30), undersøges det, om der vil være, om der vil være direkte solindfald ved den aktuelle indstilling af afskærmningen. Hvis der er direkte sol på facaden, defineret ved at værdien af Close er overskredet, drejes afskærmningens lameller til den kritiske vinkel  $\beta_c$  plus eventuel værdi af OverCloseAngle. Hvis OverCloseAngle sættes til en værdi større end 0, bliver antallet af reguleringer i løbet af dagen reduceret. Figur 39 viser hvordan CutOff vinklen varierer for en lamelbaseret solafskærmning på en sydvendt facade hen over dagen i de måneder, hvor vinklen er større end 0.



Figur 39. Variation af CutOff vinklen for en sydvendt facade i løbet af dagen og for forskellige måneder (den 15. i måneden). Diagrammet gælder for Danmarks breddegrad og for en værdi af lamelbredde og lamelafstand på 0,83. For alle tidspunkter, som ikke er vist på grafen er CutOff vinklen 0 eller mindre.

### 9.1.5 Regulering efter blændingsforhold og belysningsstyrke, GlareCtrl

Oftest antages det, at solafskærmninger reguleres efter solindfaldet, eller efter temperaturen i lokalet. Flere forskningsundersøgelser viser imidlertid, at brugeren i højere grad regulerer efter gener fra dagslyset, dvs. fra direkte solindfald eller høj himmelluminans. Forskningen viser også, at brugerne ofte lader solafskærmningen forblive lukket, indtil dagslyset i rummet bliver utilstrækkeligt til de aktuelle arbejdsopgaver. Ved reguleringstypen GlareCtrl søger man at minimere visuel diskomfort, dels på grund af gener fra blænding og dels på grund af for lidt lys. De to kriterier for diskomfort er udtrykt ved et indeks, der angiver sandsynligheden for at en bruger oplever visuel diskomfort, VDP (Visual Discomfort Probability). BSim dialogen for GlareCtrl er vist i figur 40.



Figur 40. BSim dialog for definition af GlareCtrl. Ud fra den ønskede maksimale værdi af VDP beregnes grænselværdier belysningsstyrken i de to valgte referencepunkter (normalt på lodret plan ved øjehøjdeposition samt på arbejdsplan).

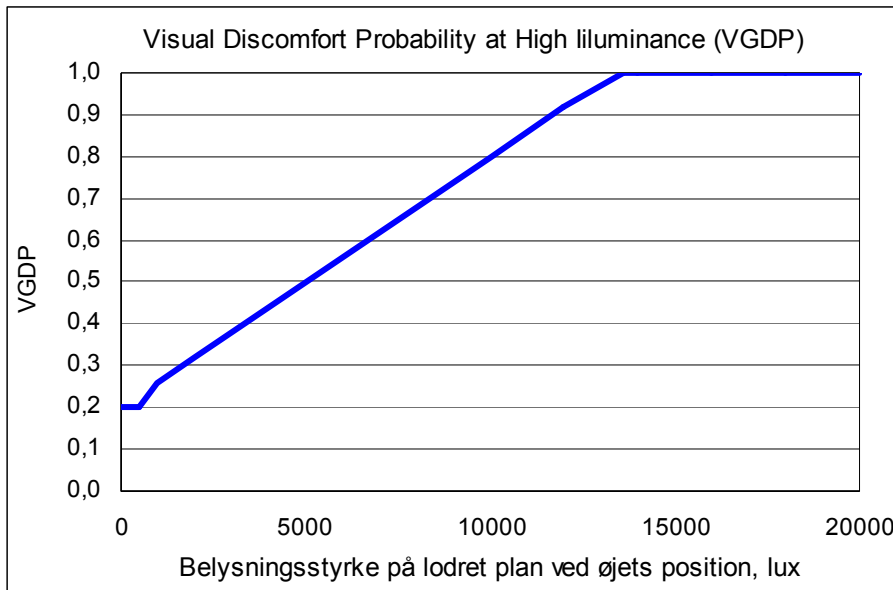
### 9.1.5.1 Visual discomfort probability på grund af høj belysningsstyrke

Som grundlag for beregning af visuel diskomfort på grund af blænding benyttes et forenklet udtryk for en formel udviklet i EU-projektet ECCO-Build (2002). Den forenkledede formel, der udtrykker sandsynligheden for at en person vil opleve diskomfort ud fra belysningsstyrken på øjet, har udtrykket:

$$\begin{aligned} \text{hvis } E_v < 500 & \quad VDP = VLDP_{\min} \\ \text{hvis } E_v > 13700 & \quad VDP = 1.0 \\ \text{ellers} & \quad VDP = 6 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 0.17 \end{aligned}$$

$E_v$  er belysningsstyrken på et lodret plan ved øjet  
 VGDP er sandsynligheden for oplevelse af blænding

Udtrykket, vist grafisk i figur 41, illustrerer at der er store variationer i personers oplevelse af blænding. Mens nogle vil opleve ubehagsblænding allerede ved en belysningsstyrke på øjet på 1.000 lux, kan andre tolerere belysningsstyrker på helt op til 13.000 lux.



Figur 41. Diskomfort pga. blænding (Visual discomfort probability due to glare, VGDP), normalt defineret ved belysningsstyrken på lodret plan ved brugerens øjenposition.

### 9.1.5.2 Visual discomfort probability på grund af lav belysningsstyrke på arbejdsplan

Sandsynligheden for oplevelse af visuel diskomfort på grund af blænding skal vurderes i sammenhæng med sandsynligheden for diskomfort pga. for lav belysningsstyrke. Et udtryk for sandsynligheden for oplevelse af diskomfort på grund af for lav belysningsstyrke på arbejdsplanet er udviklet af Lindelöf (2005):

$$\begin{aligned} \text{hvis } E_h < 10 & \quad VDP = 1.0 \\ \text{hvis } E_h > E_{opt} & \quad VDP = (1 - VLDP_{min}) \cdot (E_{opt} - E_h) / E_{opt} + VLDP_{min} \\ \text{ellers} & \quad VDP = VLDP_{min} \end{aligned}$$

$E_h$  er belysningsstyrken på horisontalplan (arbejdsplan)

$E_{opt}$  er den ønskede (optimale) belysningsstyrke på arbejdsplanet (eller arbejdsobjektet), som afhænger af den aktuelle arbejdsopgave

$VLDP$  er sandsynligheden for oplevelse af visuel diskomfort pga. for lidt lys

$VLDP_{min}$  er den laveste værdi som diskomfortindekset kan antage (typisk 0,2)

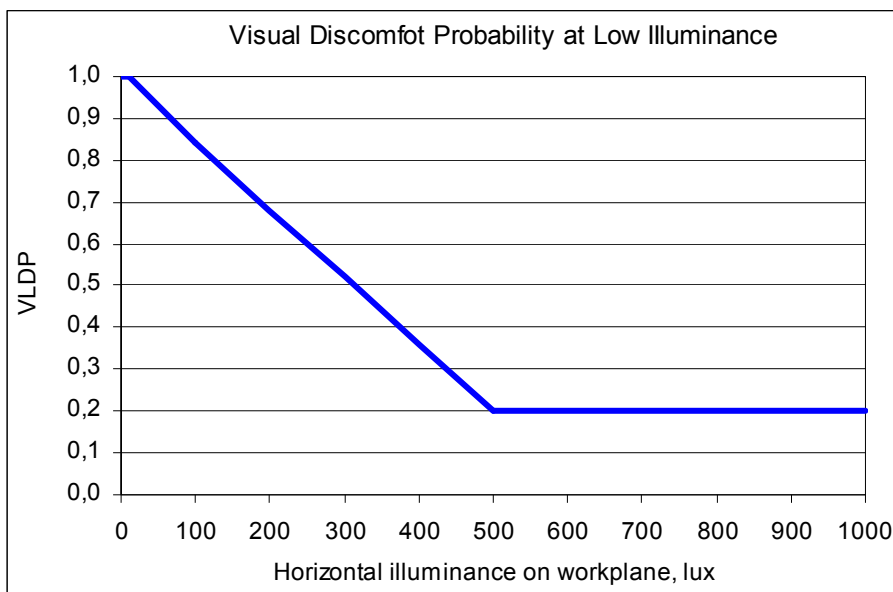
### 9.1.5.3 Reguleringsfunktion

I den nuværende version er denne reguleringsstrategi primært tænkt anvendt for afskærmninger med lameller, fx persiennet, og afskærmningen kan enten være trukket helt op (ingen afskærmning) eller være trukket helt ned med lamellerne i en hældning bestemt af behovet. Ud fra den valgte værdi af  $MaxVDP$  beregner  $BSim$  den tilhørende grænse for blænding  $VGDP$  i det valgte referencepunkt (normalt lodret plan ved øjets position, med en orientering mod vinduet eller evt. drejet 45 grader i forhold til vinduet) samt den tilhørende grænse for for lidt lys  $VLDP$  (fx på arbejdsbordet).

Ved starten af en tidsangivelse beregnes belysningsstyrken i referencepunkterne uden afskærmning. Ved behov for regulering pga. blænding afhænger reguleringsformen af afskærmningstypen. For typen Venetian (blind)søges belysningsstyrken i det valgte referencepunkt reduceret netop så meget, at blændingsgrænsen overholdes. Regulering sker ud fra op-

slag i tabel 15, og ud fra den valgte indstilling af lamellerne kan den aktuelle solafskærningsfaktor og dermed solindfaldet beregnes ud fra tabel 11 og tabel 12 (udvendig afskærmning) eller tabel 13 og tabel 14 (indvendig afskærmning). Afskærmningens indstilling er ved starten af hvert tidsstep (halvtime) ligesom i forrige tidsstep. Hvis blændingskriteriet er overholdt, undersøges det, om afskærmningen kan åbnes mere for at opnå en højere belysningsstyrke i det andet referencepunkt (normalt på vandret arbejdsplan) samt for at opnå størst muligt udsyn.

For typerne Curtain eller Screen trækkes afskærmningen helt for, og den nye belysningsstyrke beregnes ud fra reduktionsfaktorerne angivet for gardin i tabel 15. Når afskærmningen er trukket for, anvendes afskærmningsfaktoren valgt i systemdialogen for Shading.



Figur 42. Visuel discomfort pga. for lidt lys (visual discomfort probability, VLDP), normalt defineret ved belysningsstyrken på arbejdsplanet (eller arbejdsobjektet). Den ønskede værdi af belysningsstyrken (Min. Lux) vælges af brugeren ud fra den aktuelle arbejdsopgave. I figuren er værdien 500 lux.

## 10 Konklusion

I forbindelse med projektet er der udarbejdet metoder til karakterisering af solafskærmningers optiske og termiske egenskaber på en retvisende og realistisk måde. I stedet for blot at anvende afskærmningsfaktoren, som kun beskriver solafskærmningens effekt sammen med en (forældet) standardrude, uden hensyntagen til solafskærmningers dynamiske egenskaber, skal de karakteriseres i kombination med den aktuelle rude/glasfacade, som anvendes i den konkrete bygning.

Den foreslåede fremgangsmåde tager udgangspunkt i de karakteristiske data for solafskærmningen (transmittans og reflektans), som normalt oplyses af producenten. Disse data indlæses i programmet WIS, som beregner de optiske og energimæssige egenskaber for solafskærmningen i kombination med en ønsket rude, og samtidig tager hensyn til, at egenskaberne afhænger af solens position. Ligeledes beregnes egenskaberne for forskellige positioner af solafskærmningen (f.eks. lamelhældningen i en persienne). På den måde karakteriseres solafskærmningen på en retvisende måde, som inkluderer effekten af at solafskærmningers egenskaber varierer over døgnet og året.

Den forbedrede karakteriseringsmetode af solafskærmninger udnyttes i to nye beregningsværktøjer, som er udviklet i forbindelse med projektet. Bygningssimuleringsprogrammet BuildingCalc er blevet udvidet med et nyt beregningsmodul LightCalc, som kan regne på dagslysforhold i bygninger og gør det muligt at inddrage solafskærmningers dynamiske egenskaber i bygningssimuleringer, hvilket ikke er muligt i de programmer som normalt anvendes i dag. Programmet bygger på en simpel model, så der med ganske få input kan foretages en realistisk beregning af energiforbrug, dagslysforhold og termisk indeklime i bygninger med solafskærmninger. Programmet er derfor velegnet til vurdering af solafskærmningers virkemåde i den tidlige skitsefase af bygningsprojekteringen, hvor det er vigtigt at være opmærksom på facadeudformningens og herunder solafskærmningers indflydelse på energiforbrug og indeklime.

For at også at kunne inddrage solafskærmninger i detailfasen af bygningsprojekteringen er programmet BSim, som allerede er hyppigt anvendt i dag, blevet udbygget som en del af projektet. I forhold til tidligere versioner er programmet med de nye moduler nu i stand til at håndtere solafskærmninger meget realistisk, idet der tages højde for solafskærmningernes egenskaber afhænger af solens indfaldsvinkel, som hele tiden varierer over døgnet og året. I den nye version af BSim er det muligt at styre solafskærmningerne efter forskellige strategier baseret på solindfald, operativ temperatur, lysindfald, blænding m.m. Det giver derfor et bedre grundlag for vurdering af effekten af forskellige anvendelses muligheder af solafskærmninger.

De udviklede beregningsværktøjer giver bygningsprojekterende bedre muligheder for at optimere solafskærmningers integrering i facaden, hvilket kan føre til energibesparelser til opvarmning, ventilation, køling og belysning. Til sammen udgør de to værktøjer således et solidt projekteringsgrundlag for arkitekter og ingeniører m.fl., som vil kunne fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger.

## 11 Referencer

Hviid C.A. (2007)

Simple tool to evaluate the impact of daylight on building energy consumption  
Indsendt til Solar Energy Journal, Januar 2007

Nielsen, T.R og Hviid, C.A. (2008)

BuildingCalc + LightCalc Users guide for version 2.5.3  
Undervisningsnotat, BYG·DTU, 2008

Nielsen, T.R og Hviid, C.A. (2006)

BuildingCalc + LightCalc. Combined thermal and daylight sbuildingsimulation. BYG.DTU ,  
Danmarks Tekniske Universitet, 2006

BR95 (2007)

Bygningsreglementet for erhvervs- og etagebyggeri, inkl. tillæg 1-15  
[http://www.ebst.dk/BR95\\_12/0/54/0](http://www.ebst.dk/BR95_12/0/54/0) (hentet 14. februar 2007)

BR08 (2008)

Bygningsreglementet 2008  
<http://www.ebst.dk/br08.dk/forside/0/2/0> (hentet 19. februar 2008)

Rosenfeld, J.L.J. (2004)

Data Submission Procedure for Shading and Diffusing Components  
Technical University of Denmark, 2004

SBi 213 (2007)

Bygningers Energibehov, SBi-anvisning 213  
Statens Byggeforskningsinstitut, SBi, 2005

SBi, (2007).

BSim. Integreret edb-værktøj til projektering af bygninger og installationer. Statens  
Byggeforskningsinstitut, SBi 2007

Wall, M., Bülow-Hübe, H. (2003)

Solar protectrion in buildings. Division of Energy and Building Design, Lund Institute of  
technology, Lund University, 2003

SBI-anvisning 196 (2000)

Indeklimahåndbogen 2. udgave,  
Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, 2000.

WinDat, 2006.

Window Information System software (WIS), WinDat Thematic Network, TNO Bouw, Neth-  
erlands.

Available from: <http://www.windat.ucd.ie>

**DTU Byg****Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger**

Ashrae Standard 74, (1988)

Method of Measuring Solar Optical Properties of Materials. (revision of Ashrae 74-73)

Tregenza, P.R., 1987.

Subdivision of the sky hemisphere for luminance measurements. *Lighting Research & Technology* 19 (1), 13-14.

Perez, R., Seals, R., Michalsky, J., 1993.

All-weather model for sky luminance distribution - preliminary configuration and validation. *Solar Energy* 50 (3), 235-245.

Robinson, D., Stone, A., 2006.

Internal illumination prediction based on a simplified radiosity algorithm. *Solar Energy* 80 (3), 260-267.

## Bilag 1. Standarddokumentationsform for solafskærmninger

I forbindelse med projektet er der udviklet en standarddokumentationsform for solafskærmningsprodukter, som kan bruges som dokumentation for solafskærmningers egenskaber. Da det har vist sig, at producenterne generelt ikke kan oplyse de optiske egenskaber som spektrale værdier, er det valgt at anvende integrerede værdier for transmittans og reflektans. Ligeledes foreligger værdierne typisk kun for vinkelret stråling.

Følgende data skal dokumenteres for materialet som solafskærmningen er lavet af:

Type:

Rullegardin/screen

Persienne/lamel

Plissegardin

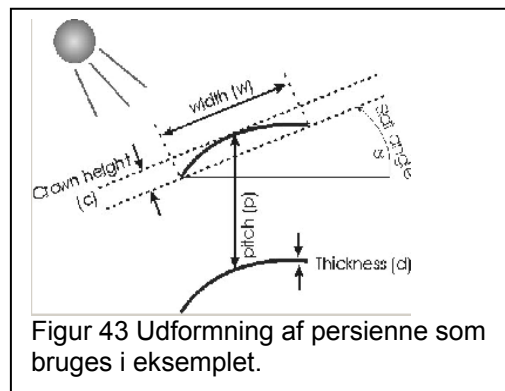
Andet

Geometri:

Eksempel, persienne

Tykkelse af lameller, $d$	
Bredde af lameller, $W$	
Buehøjde, $c$	
Afstand mellem lameller, $p$	
Farve	

Tabel 16. Udformning af persienne.



Figur 43 Udformning af persienne som bruges i eksemplet.

Optiske egenskaber for materialet

	Solenergi (250 til 2500 nm)	synligt lys (380 til 780 nm)	UV stråling (250 til 380 nm)
Reflektans, forside			
Reflektans, bagside			
Transmittans (ens for begge sider)			

**DTU Byg**

**Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger**

## **Bilag 2. Simple tool to evaluate the impact of daylight on building energy consumption**

Artikel i Solar Energy

### **Bilag 3. Procedure til bestemmelse af solafskærmningers egenskaber og deres effekt på indeklima og energiforbrug i bygninger**

## **Bilag 4. Solafskærmningers egenskaber**

Artikel i Arkitekten

**Bilag 5. Producenter af solafskærmningsprodukter**

I Tabel 17 er et udvalg af producenter af forskellige solafskærmninger vist.

Tabel 17

Type	Placering	Producent	Hjemmeside
Persienner	Udvendig	Hunter Douglas Contract	<a href="http://www1.hunterdouglascontract.com">http://www1.hunterdouglascontract.com</a>
		Warema	<a href="http://www.warema.de">http://www.warema.de</a>
	Integreret	Hagen	<a href="http://www.hagen.dk">http://www.hagen.dk</a>
		Luxaclair	<a href="http://www.luxaclair.co.uk">http://www.luxaclair.co.uk</a>
		Hunter Douglas Contract	<a href="http://www1.hunterdouglascontract.com">http://www1.hunterdouglascontract.com</a>
	Indvendig	Luxaflex	<a href="http://www.luxaflex.com">http://www.luxaflex.com</a>
		Velux	<a href="http://www.velux.com/">http://www.velux.com/</a>
		Hunter Douglas Contract	<a href="http://www1.hunterdouglascontract.com">http://www1.hunterdouglascontract.com</a>
	Rullegardiner/screens	Udvendig	Verosol
Integreret		Pellini	<a href="http://www.pellini.net">http://www.pellini.net</a>
Indvendig		Verosol	<a href="http://www.verosol.com">http://www.verosol.com</a>
		Velux	<a href="http://www.velux.com/">http://www.velux.com/</a>
Lameller	Udvendig	Colt	<a href="http://www.coltinfo.co.uk">http://www.coltinfo.co.uk</a>
		Hunter Douglas Contract	<a href="http://www1.hunterdouglascontract.com">http://www1.hunterdouglascontract.com</a>
		Saint Gobain Glass	<a href="http://www.saint-gobain-glass.com">http://www.saint-gobain-glass.com</a>
Solafskærmende ruder	-	Pilkington	<a href="http://www.pilkington.com">http://www.pilkington.com</a>
		Saint Gobain Glass	<a href="http://www.saint-gobain-glass.com">http://www.saint-gobain-glass.com</a>